. C. 55(05)

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN 日本國地質調査所

# 地質調査所月報

第 9 巻　第 6 號

目　次

報　文

小野吉彦，室住正義，本間一郎：成層構造の比抵抗探査について
—田無および多古における測定を中心として— …… 1
尾原　信彦：岡山県高梁川水系成羽川筋ダム地質概説……11
蔵田延男，森　和雄，池田喜代治：荒川および江戸川下流工業
用水源地域調査報告
—関東西部地域調査　第5報—……17
中村久由，前田憲二郎：本邦高鹹泉の温泉地質学的意義……41
佐々木実：群馬県高崎亜炭田炭質調査報告……51

概　報

北海道勇払郡穂別含チタン砂鉄鉱床試錐調査報告
青森鉱天間林地方砂鉄鉱床調査報告
青森県田名部・野牛地方砂鉄鉱床調査報告
三重県名張周辺阿山地区チタン砂鉄鉱床調査報告
三重県名張市上比奈知附近のモナズ石砂概査報告
青森県南津軽郡碇ケ関村建築石材原石調査報告
京都府天田・加佐郡下磁硫鉄鉱鉱床調査報告
Studies on the Elastic Wave Velocity in Clastic Rock

資　料

クナシリ島（千島列島）のGorovnin 火山の Solfatara にみられる
シリカゲルの生成問題について
錯化合物と再沈殿帯への化学元素の移動について

工業技術院地質調査所

昭和 33 年 6 月

.13 研究所

# 報　　文

550.837 (521.27)

## 成層構造の比抵抗探査について

### ——田無および多古における測定を中心として——

小野 吉彦*　　室住 正義*　　本間 一郎*

## On the Application of Resistivity Method for Horizontally Stratified Layer Problems (Some Notes on Geo-electrical Measurements at Tanashi and Tako)

By

Yoshihiko Ono, Masayoshi Murozumi & Ichirō Homma

Abstract

To obtain the information of electrical records in the bore holes for more better interpretation of electrical data on the ground surface, resistivity measurements were carried out at Tanashi, Tokyō and Tako, Chiba prefecture.

In this report, the results of these observations are described.

The measurements at Tanashi consist of 13 electrical soundings (by Wenner method), 5 resistivity tests in the bore holes (by two electrode methods) and electrical trenchings for checking horizontal irregularity, and at Tako 4 electrical soundings and 3 resistivity loggings.

After comparing electrical sounding data with electrical logs, the next considerations are described.

1) Two-layer standard curve method might be used carefully in applying to three or multiple layer problems.

2) For subsoil structure of different successive layers, equivalence effect and pseudo-anisotropic effect should be taken into account.

3) The resolving power of sounding graph for deeper layer does not depend on its absolute depth but its relative depth (the ratio of its depth to its thickness), in addition to the distribution of resistivity in the subsoil. And then, for studying deeper intercalated layer by electrical sounding, more accurate results may be obtained, if electrical logs are used.

In conclusion, the electrical study of rock by the electrical logging or the laboratory test seems to be important in interpretating sounding data, together with the improvement of analysis method of sounding data.

要　　旨

東大田無農場内および千葉県多古町附近において，資収集の目的で，垂直探査ならびに孔内の比抵抗測定が施された。これらの測定結果が理論模型曲線と併せて比較され，次のような考察がなされる。垂直探査に際して

（1）　2層の標準曲線を多層問題に適用しようとする場合の，等価層の取り扱いに吟味を要する。等価抵抗に関する考え方について，もつと考慮を払う余地がある。

（2）　互層をなす構造は，しばしば等価の一層とみな

* 物理探査部

されるが，これは偽非等方性のためであつて，これによる効果を考慮して解釈すべきである。

(3) 探査対象地層の探知能は，地下比抵抗分布型のほかは，その絶対深度によらず，相対深度（層厚に対する深度の比）によつて決定されるので，相対深度（またはその逆数の相対厚度）によつて，探知の可能性が予測できる。

結論として，垂直探査の解釈には，電気検層の資料がきわめて有用であり，また，岩石の電気的性質についての系統的研究が重要であることが強調されている。

## 1. 緒 言

成層状地質構造の地表探査に，比抵抗法がしばしば利用されているが，その測定曲線を解釈する際，他の方面の知識，例えば電気検層曲線，試錐柱状図の助けを借りることによつて，一層有効な結果が得られることはいうまでもない。この報告においては，このような測定曲線と電気検層との関連性についての測定例を中心として，垂直探査資料の解析ないし解釈のために払わねばならない若干の注意を述べてみようと思う。

垂直探査法の解析についての詳細な分析を試みようとするものではなく，実際に探査にたずさわつているものの立場から気がついた，若干の点が強調されているが，今後の調査に多少なりとも参考になれば幸である。

現場測定に際し，いろいろ便宜をいたゞいた小爆破研究グループ・東大田無農場，および多古町役場の方々に紙上を借りて感謝の意を表したい。

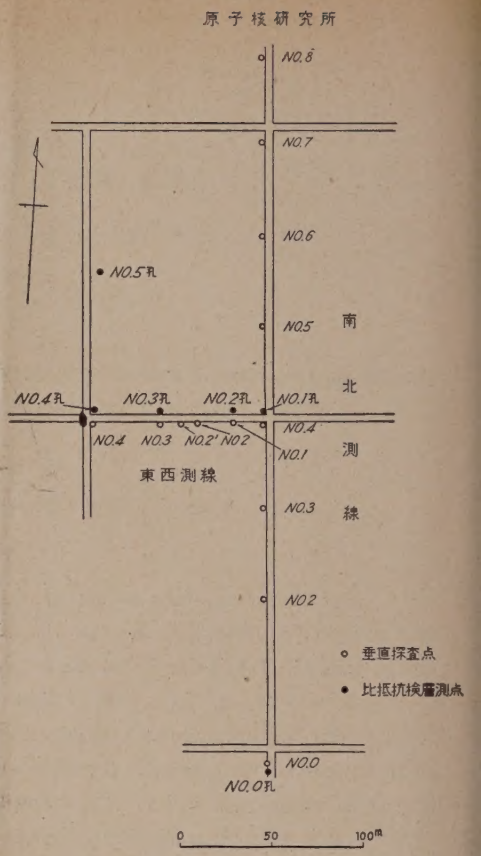
## 2. 田無における測定

昭和 29 年 2 月および同 30 年 2 月の 2 回，各数日にわたつて東大田無農場内で実施された比抵抗測定について述べよう。測定には筆者らのほか，金井光明・杉山光佑および畑瀬安彦が参加した。

最初，比抵抗検層と垂直探査との関連性についての資料を得るため，適当な間隔をおいて数本の比抵抗検層を行い，同時に地表探査を行つて，両者の曲線を比較する予定であつたが，都合により孔内測定を 1 本しか実施できなかつたので，翌年ふたゝび同地において測定を行つたものである。

測点配置については第 1 図に示してある。

孔内測定は地震探鉱用爆破孔を利用して行つたもので，いずれも浅く，深度等の点からいえば満足な資料とはいい難い。孔は「H-No. 0」から「H-No. 5」までの 6 孔であり，そのうち，「No. 0」は 29 年に測定されたものである。



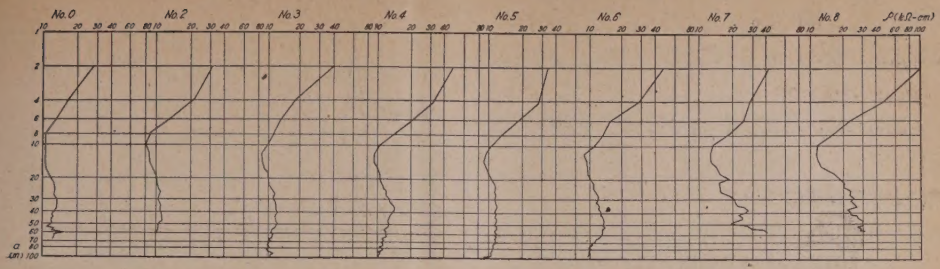

第1図 東大田無農場内測点配置図

地表探査の測点は，南北および東西両測線に配置された。南北測線は30年に用いたもので，南端を「NS-No. 0」としてこれから約 50 m おきに「NS-No. 8」まで「No. 1」を除いて 8 点の測点からなり，「NS-No. 0」と「H-No. 0」とは一致する。東西測線は「NS-No. 4」を「EW-No. 1」として西に延びており，5 測点からなる。「EW-No. 1」と「EW-No. 4」との間隔は約100mあり，「No. 2」と「No. 3」との間に「No. 2'」を設けてある。「H - No. 1」から「H - No. 4」までの測点位置は，それぞれ「EW-No. 1, 2, 3 および 4」に相当する。「H - No. 5」は「H-No. 4」から約 80m 北方の地点にある。H, NS, および EW の記号は混乱を招く恐れがない限り省略する。

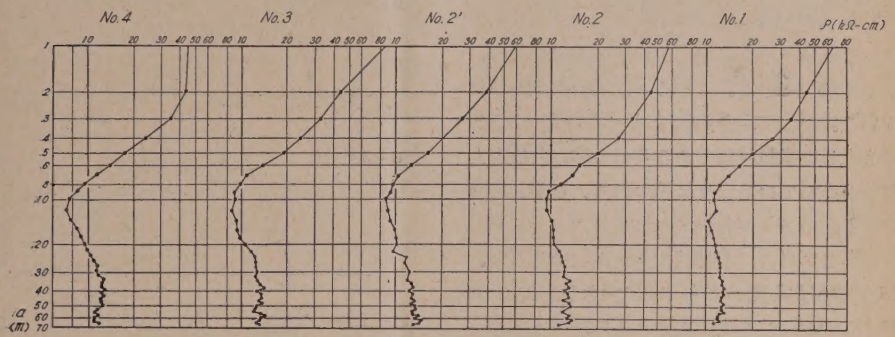
地表探査は Wenner 法により，孔内測定は 2 極法 ($a$=0.5 もしくは 1 m) で行つた。使用器械はいずれの場合も地調型電探器である。

### $\rho$-$a$ 曲線の特徴

地表測定結果は第 2 および第 3 図に $\rho$-$a$ 曲線として図示した。各曲線とも比較的類似していて，$a$ の小さい部




第2図　東大田無農場内比抵抗曲線図（南北線）




第3図　東大田無農場内比抵抗曲線図（東西線）

分で数 10 kΩ-cm の見掛比抵抗値を示し，$a$ の増大につれていずれも減少をみせ，$a$=10m附近で極小値（10 kΩ-cm）を作つている。さらに $a$ を増すと，大半の曲線は緩慢な上昇を示すが，15 kΩ-cm 以上にはならない。たゞ「No. 7 および No. 8」はもつと大きな見掛比抵抗値を示して，他と幾分異なつている。

さて，これら $\rho$-$a$ 曲線を通観して次のようなことが推測されるであろう。

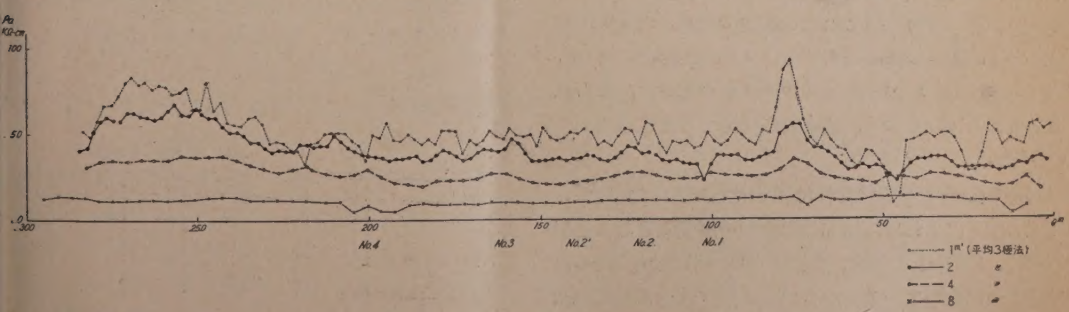
（1）　この地域の地層の垂直的比抵抗分布は，高低高低の型をとる。この3番目の高比抵抗部の厚さは，深さに比較して充分大きくないか，あるいはその比抵抗値は第1層ほど大きなものではないであろう。

（2）　曲線の類似性からみて浅所は同様の地質状況であろう（厳密にいえば必ずしもそうとばかりもいいきれないが一応の目安としてみた場合）。

しかし，細かく観察すると，僅か数10m程度を隔てるにすぎない測定曲線が，微細な点で異なつている。

測定曲線の鋸歯状変化は，主として測定精度によるもので，地表條件の影響も一部あると考えられる。「No. 7」および「No. 8」の大きなぎざぎざは比抵抗水平分布の不均一性によるものであろうと推測されるが，この附近で孔内測定もなされていないので，これ以上の考察はさしひかえる。

曲線の出はじめの部分は，表層の比抵抗分布の影響を




第4図　東大田無農場内比抵抗曲線図（水平探査）
註）2極法による測定を行い平均3極法により表現した。

最もよく受け易く，解析に不都合を与えたりする。特に表土が高比抵抗の場合，測定條件を悪くすることが多い。

そこで，念のため，地表條件をチエックする意味で水平探査を行つた。

**局部異常と水平探査について**

東西測線を利用して総延長 300m の水平探査用測線を作つた。測定は 2 極法によつて実施され，その結果は平均 3 極法（電極間隔，1，2，4 および 8 m）によつて表現されている（第 4 図）。

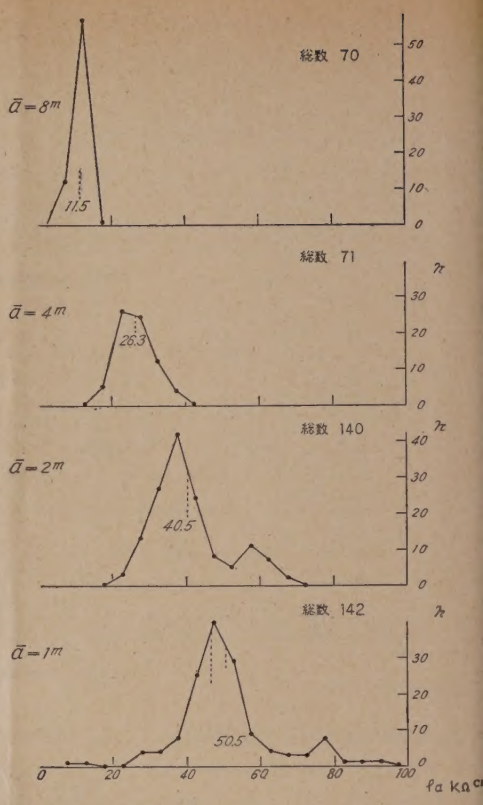
一般的にいうと $a$=1m の場合が比抵抗値は最大で，以下順に小さくなつている。このことは垂直探査の結果と一致している。そして，各曲線とも大体平行しており，特に最も大きい電極間隔である 8 m の場合，ほとんど一定した値を有しているように思われる。しかし，細かく観察すると次の諸点がうかゞわれる。

（1） $a$ の小さい場合，鋸歯状変化がはなはだしい。

（2）（1）の変化を除いても一部に大きな起伏が残る。そして，この起伏は $a$ の増大とともに漸次不明瞭となる。

（1）の変化は，主として a の測定誤差および電極埋没部の長さの効果によるものであろう。垂直探査でむしろ問題になるのは（2）の局部的比抵抗変化である。これが $\rho$-$a$ 曲線の特徴に影響を与え，場合によつては好ましくない障害ともなりうるからである。平均 3 極法を採用した一つの理由は，このような異常物を強調しようとしたことと，もしかなりの整層構造とみなしうるものであれば Wenner 法と全く同等に扱えるので比較に都合がよいことである。同じ $a$ の最大比抵抗値と最小値の差は相当あるけれども，$\rho$-$a$ 曲線の主徴を変えてしまうには至らないことからみて，この程度の不規則性は，実際にはほとんど問題にならないと思われるが，隣接測点の結果とうまく接続しないような場合とか，地質條件の悪いような場合には，例えば Wenner 法とともに Lee 法を用いて左右の対称性と誤差の検出に役立たせるのがよいと思う。現在の測定においては Lee 法を共用したが，Carpenter が Tri-Potential Method と称して，彼の試みを発表しているのも，基本的には同じ考えに基づいている[1)2)]。

第 4 図に基づいて作られた見掛比抵抗値の頻度分布（第 5 図）によれば，前述の考察が一層明瞭となると思われる。$a$=1 m の場合，山が 2 つみられるが，$a$=8 m では 1 つになつている。小さい山が前に述べた異常起伏に相当する。見掛比抵抗値が 1 点に集中するのが最適であるけれども，集中性がない場合は垂直探査を行つても



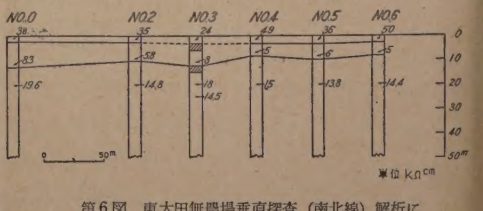

第 5 図　東大田無農場内水平探査に表われた見掛比抵抗値の頻度分布

良い結果を期待することはできない。$a$ の大きい所で掛比抵抗値が集中するのは，深部で真比抵抗値が一定してくる（水の飽和帯ではその上の酸化帯より内部の比抗の変動量が小さくなるであろう）ことによるとも推されるが，むしろ，一種の平滑化ないし平均化による思われる。そして，この平滑化が大きな構造の探査に立つているといえよう。

**$\rho$-$a$ 曲線の解析**

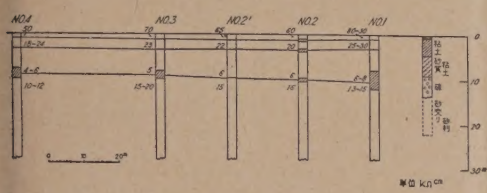
標準曲線法により全く機械的に解析を行つた結果を 6 図と第 7 図に示す。解析結果の吟味は後述することして，図について説明しよう。

南北測線については，3層の前提で解析を行つた。そ



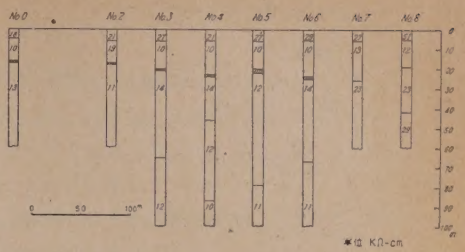

第 6 図　東大田無農場垂直探査（南北線）解析による柱状図（標準曲線法による）

結果，表層として 30～50 kΩ-cm，中間層として 5～8 kΩ-cm，下部層として 10 数kΩ-cm の比抵抗層がそれぞれ得られた。中間層は深さ 2～3 m に上面を有し，10m 前後に底面を有している。東西測線で 4 層が得られているのは，前の場合，3 層として重ね合わせを行うと表層部で若干うまくいかなかつたのと，柱状図，孔内測定結果からみて 4 層とみなした方がよかろうと考えて解析したもので，解析手続きからいえば，この程度の薄い層を何枚も作ることは本来は無理である。前者と後者とを比較すると，後の第一および第二層が前の表層に対応する。4 層とみなした場合，第二層は 20 kΩ-cm 前後の値を示している。実際の調査でも 3 層とみるか 4 層とみるか判断しにくい場合がある。このようなとき電気検層の資料があれば，この判定に有効であろう。図上斜線を施したのは両様に解析できたからで，局部的異常のためそれなことがよく起る。（実は局部的異常がなくても，比抵抗の有する等価性のしわざでも起ることがある。）




第 7 図　東大田無農場垂直探査（東西線）比抵抗柱状図

参考までに Moore の方法[14]なる経験法によつて解析した結果を第 8 図に示したが，この結果を地質的に結びけようとしても客観性が保たれないであろう。




第 8 図　東大田無農場垂直探査（南北線）解析による比抵抗柱状図（Moore の方法による）

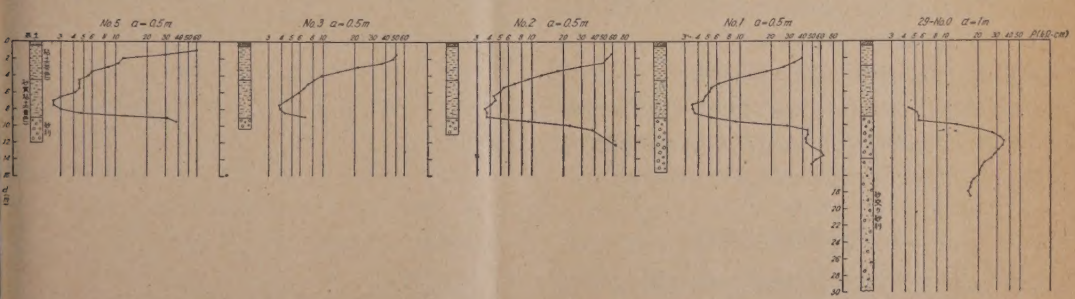
孔内測定曲線を試錐柱状図と比較してみよう。最初の高比抵抗部は表土および茶色粘土に対応するが，次の低比抵抗部に相当する砂質粘土との境界は，曲線上には明瞭に現われていない。しかし，砂質粘土とその下の砂利との境界はきわめて明瞭にみられる。柱状図によれば，砂利層の下部に砂混り砂利層が続いているが，昭和29年の資料によれば，砂利層から砂混り砂利層に移行する部分に明白な境界はみあたらない。

以上の結果から次のことがらが推論できる。

（1）　孔内測定結果と柱状図との対応はおゝむね満足できるものである。

（2）　浅部の連続的下降変化は，主として地層内に含まれる水分の連続的変化に起因するものであろう。

（3）　茶色粘土と砂質粘土との比抵抗の相違は，後者が水分で飽和しているのに対し，前者はその状態に達していないからであろう。




第 9 図　東大田無農場内比抵抗検層図

**孔内測定資料と比抵抗曲線**

孔内測定の結果を第 9 図に示す。これによると浅部で kΩ-cm の比抵抗値が得られているが，深さとともに少して 8 m で極小値 4 kΩ-cm 以下となり，9 m で不続的に増大を示して数 10 kΩ-cm に達している。初年資料からこの高比抵抗は以下漸次的減少をなし 20 kΩ m 以下となつていることがうかゞえる。

（4）　砂利層から砂混り砂利層へ移る部分では，砂利と砂の混合比が徐々に変化し，漸移状態を呈することによつて曲線上確然たる変化を示さないであろう。

ところで，地表探査の結果を上述の測定資料とを照合してみよう（第 1 表）。

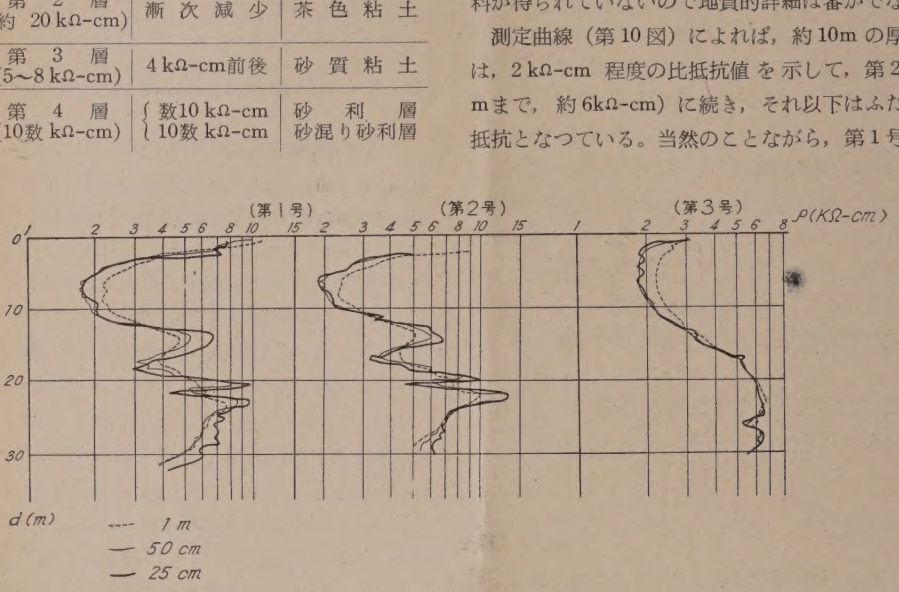
これによると第 1～3 層までの解析結果は大体よく合つているが，第 4 層に相当する砂利層の影響はあまりよく現われていない。すなわち地表探査によつては，この

第 1 表

| 地表測定（$\rho$-$a$ 曲線）から | | 孔内測定（比抵抗検層）から | 試錐柱状図から |
|---|---|---|---|
| 3 層 | 4 層 | | |
| 表層 | 第 1 層（数 10 kΩ-cm） | 数 10 kΩ-cm | 表 土 |
| | 第 2 層（約 20 kΩ-cm） | 漸 次 減 少 | 茶 色 粘 土 |
| 中間層 | 第 3 層（5～8 kΩ-cm） | 4 kΩ-cm前後 | 砂 質 粘 土 |
| 下部層 | 第 4 層（10数 kΩ-cm） | 数10 kΩ-cm<br>10数 kΩ-cm | 砂 利 層<br>砂混り砂利層 |

井の中間地点で，約10m隔てて掘られたもの（便宜上第1および第2号孔と名付けよう）で，他の1本は同点の南方約 2 km の東條村栗田附近に掘られたもの3号孔）で，いずれも孔径4吋，深度は約 30 m であ測定器械は 地調型電探器で，測定は 2 極法（電極間0.25，0.5 および 1 m）で行われた。柱状図その他の料が得られていないので地質的詳細は審かでない。

測定曲線（第 10 図）によれば，約 10m の厚さの表は，2 kΩ-cm 程度の比抵抗値 を 示して，第 2 層（2 mまで，約 6kΩ-cm）に続き，それ以下はふたゝび低抵抗となつている。当然のことながら，第 1 号孔と第




第 10 図 多古町附近比抵抗検層曲線図（使用電極配置：2 極法）

程度の比抵抗差を有する場合でも，厚さの関係から検出困難となるものと考えられる。この問題については後の項でさらに検討することにしよう。

表層の比抵抗が徐々に深さとともに変化する場合については，例えば Mooney によつて若干の考察が行われているが[12]，われわれはこの点に関しては別の機会に詳しく論ずることにして現在は特に深くふれない。

### 3. 多古町附近の測定

昭和29年12月，千葉県多古町附近で地震探査が実施された際[15]，筆者らは爆破孔を利用して孔内測定および関連した地表測定を行つた。そのおもな目的は，前述の田無の場合と同様地表の測定曲線と孔内のそれとの関連性についての資料を得ることであつた。しかし当初予定されただけの本数の孔内測定も，種々の事情で不可能となり，地表測定もきわめて悪い條件でなされたために，充分な成果を得るには至らなかつた。こゝでは結果の概略を述べよう。

#### 孔 内 測 定

測定可能の爆破孔 3 本のうち，2 本は多古町広沼，染

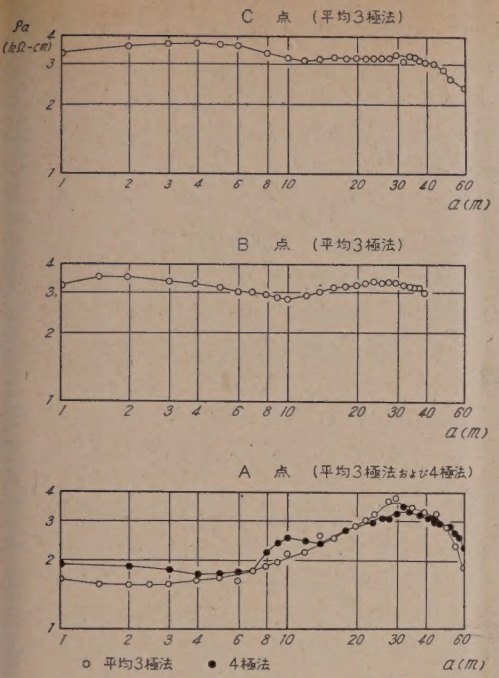
号孔とから得られた曲線は酷似しており，両者を第3曲線と比較すると，前者の方が後者より高比抵抗部内微細構造の発達が検出されている。

柱状図が得られてないので，曲線の細部について考することは避けるが，多分，はじめの低比抵抗部は細層で次の層は中砂と細砂の互層，もしくは細砂から中への移行部をなしていると思われる。最後の低比抵抗は第 3 号孔でははつきり現われていないけれども，比的塩味を含んだ地層であるものと思われる。

#### 地 表 測 定

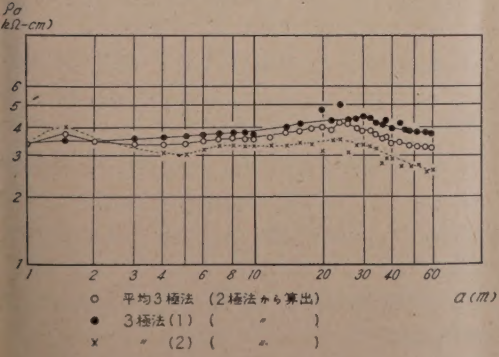
第 1 および 2 号孔を中心として，半径50～60mの同状に囲んだ 3 点の垂直探査の結果を第11図に示す。孔すぐ近くで地表測定が行えず，また，作業条件，地形の関係上 Wenner 法以外の方法（2 極法，3 極法等でも実施しているので，比較が困難であつて，われわの目的に対して適当な場合であつたとは思われない「A」は道路沿い，「B」および「C」は湿田中の測で，いずれも孔口より 1～2 m低い。

孔内の測定からもうかゞえるように，一般に低比抵であるが，海岸附近の測定でしばしばこのような例が




第11図 多古町附近比抵抗曲線図（第1および第2号孔附近 ρ-a 曲線）

うけられる。しかし，「A」,「B」および「C」の3曲線を比較してもよく似ているとはいゝ難い。また孔内測定と比較してもよくわからない面が多分にある。極度の低比抵抗帯で垂直探査を行うとき，しばしば問題になるのは測定電位の精度の保持である。それでも湿田内という悪い條件と，低電位の測定という問題はあるにせよ，「B」「C」にみられる凹部と，「A」の低比抵抗部が孔内測定曲線の低比抵抗部に対応するとは考えてよいであろう。次に高比抵抗部が孔内測定で観察されたけれども，地表測定では「A」のほかはほとんど不明瞭である。これは，「B」「C」の表層が湿田であつて，この抵抗がやゝ高く，中間に挟んだ低比抵抗部の検出を不可能にしたものと思われる。$a$=30～40m 附近でみられる曲線の下降は，孔内での結果とよく対応されるが，おそらく，かなり厚い低比抵抗層が約30m以深に存在しているものと思われる。このことは，第3号近くで得られた $\rho$-$a$ 曲線についても同様である（第12図）。これらの曲線は平坦な曲線であり，標準曲線による解析は行えないので定性的考察のみに止めた。




第12図 多古町附近比抵抗曲線第3号孔附近 ρ-a 曲線図

## 4. 考 察

垂直探査によつて良好な結果を得んがためには，充分な精度を有する測定曲線を得ることがまず必要である。特に深部探鉱の実をあげるためには現在の精度では不充分である。こゝに述べたような測定に対しても，さらに精度向上が必要であろう。

しかし，垂直探査の実施にあたつて，常に隘路となつているもう一つの問題は，解析法の問題である。そこで，前に述べた結果を中心にして若干の考察を加えてみよう。

現在，いわゆる経験法は別として，最もよく利用されているのは標準曲線法と Tagg の方法であろう。しかし，これらはその理論的基礎を2層構造に求めているので，3層もしくはそれ以上の場合にどの程度まで拡張を許されるか，はなはだ疑問であつた。そこで3層構造を起点とする解析法に改められつつあるのが，フランスあるいはアメリカにおける現状である。といつて，3層の標準曲線が得られれば万事解決というわけにはゆかない事情がある。一つの問題は3層の標準曲線の作製という問題である。2層の場合と違い3層の比抵抗，厚さの組合せはもつと複雑になるので，どれだけ用意すればよいかがまず問題となる。多すぎても照合に手数がかゝるし，第一作製するのが大変である。そこで基準の3層曲線から組合せによつて多層曲線を作る試みも発表されている[5]。また，すでに相当数の曲線群を有しているフランス[9]，ソ連等では，電極配置として Wenner 法ではなく Schlumberger 法を採用しているので，Wenner 法を採用する限りではこれらの曲線集を直接利用することができない（曲線の数値表が得られれば，近似計算から Wenner 法の計算することは一応可能である[3]）。もつとも，最近，アメリカでは Mooney が中心となつて Wenner 法の曲線集を作りつゝあり，一部はすでに出版されている[13]。これは積分器械あるいは電子計算機によつて計算した模様である。もう一つの問題は，これに相応した調査方法の確立ということである。適当に3層と

して処理できるようにすることである。実際の大地はいくつかの互層を形成しているが，比抵抗曲線に描かれてくる特徴は，3層もしくは4層曲線の特徴を示す場合が多い。したがつて，これらの層を適当な比抵抗層におきかえた場合，地質的に意味をもたせうるものでなければならない。

このような解析原理の発展は中間層探査の重要性の増大によるものであろう。

筆者らは従来の解析法が誤つているとは考えてはいない。しかし，2層構造を起点として多層問題に拡張する場合，かなりの吟味を要することを主張したいのである。

**等価抵抗と異方性**

2層の標準曲線法を多層構造に対して適用しようとするとき，補助曲線を利用している。この方法は Hummel の等価抵抗の概念を利用したものであるが，この概念の成立の制限については，なんら述べていない。この辺の事情については Watson, Johnson の研究があり[18]，清野武の電気探鉱学のなかにも説明がなされている[7]。

3層構造に対して2層標準曲線法を適用した場合，中間層が低比抵抗層である場合は，比較的良い結果が得られるのは Hummel の等価抵抗が地層の全並列抵抗に相当するもので，物理的にみても自然であるのに反し，高抵抗の場合，直列合成抵抗とみた方が妥当であるにもかかわらず，並列の等価抵抗におきかえたため，実際の結果と大きな差異を生ずることがしばしばある。この点に着目して，藤田勝輔は判定法の改良を提唱しているが[6]，これによつて解析結果を一段と向上できるであろう。田無の例でみれば，比較的良い一致をみたのは，中間層が低比抵抗層であつたためであろう。

現在順に高く，もしくは低くなる3層構造に対する判定法の改良は得られていないように思われる。筆者らの経験によれば，このような場合はしばしば標準曲線法の使いにくい場合となつているように思われる。

ところで，深さ，もしくは比抵抗の判定でしばしば実際と食い違いを生ずる原因は，一つは前述の Hummel の等価層の概念に由来するものであるが，他にもある。それは一見，全く同じ曲線が得られる別の構造がありうることである。すなわち，不確定性が存在するためである。例えば，第1層と第3層の比抵抗が等しいとし，中間層が比較的うすい場合，その比抵抗 $\rho$，厚さ $d$ とすれば，中間層が低いときには $\rho/d$＝一定，高い場合には $\rho d$ 一定なる関係のいろいろな比抵抗分布はそれぞれ同様な比抵抗曲線が得られる。このような等価性のために，実際にはうすいものを厚く判定する場合が多い。

もう一つ，注意しておかねばならないことは異方性である[10) 17)]。地層が異方性を有すると否とにかゝわらず互層をなす場合，見掛比抵抗曲線に対しては異方性をする一つの地層のようにふるまう。例えば，浅い所にある基盤を上部の互層の示す，異方性（この異方性を擬方性と称している）のために深くにあるかのような半をすることがしばしばある。

**検出能と相対厚度**

ところで，上述の問題を考える場合，当然に考えてかねばならないのは地層の検出能である。いいかえればどの程度の層厚，比抵抗差があれば比抵抗曲線上に検されうるかということである。

3層を考える場合，各層の厚さ $d$，比抵抗 $\rho$ に番をつけ，それぞれ $d_1$, $d_2$, $d_3$，および $\rho_1$, $\rho_2$, $\rho_3$ とると，同じ厚さに対しては

$\rho_1<\rho_2>\rho_3$　もしくは　$\rho_1>\rho_2<\rho_3$

の場合の方が

$\rho_1<\rho_2<\rho_3$　あるいは　$\rho_1>\rho_2>\rho_3$

の場合よりも検出し易い。また，厚さに関していうならば，絶対厚度が検出能を支配せず，深さ $h$ に対する厚さの比，相対厚度 $d/h$ が問題となる。3層の場合，安として少なくとも 1/2 以上の相対厚度を有しなければ，検出し得ないか，検出し得たとしても，等価性のために厚いものと判定してしまうであろう。

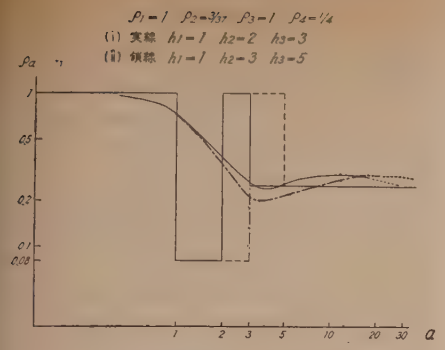
ところで，ごく浅い所は別として，相対厚度が 1/2 上の層はそう多くない。そこで，相対厚度の小さな層重合して互層をなす場合，見掛上，一つの層としてのきをなし擬異方性を生ずることがしばしばある。したつて，電気検層の資料を使つて各地方における擬異方を求めておけば解析結果をもつと良好なものとすることができるであろう。

**田無の例**

田無の例について考えると，10m前後にある数10kcm の高比抵抗層が $\rho$-$a$ 曲線上に明瞭に表われていないのは，その相対厚度が小さいためと解される。この合，砂質粘土で 1～2，砂利で $^1/_2$～$^2/_3$，砂混り砂利層1以上（柱状図によれば2以上を確認），それ以下のも，その比抵抗値砂混り粘土層のそれとあまり変らないとすれば，砂利層の比抵抗値が上層の約10倍，下層の4倍あろうとも，砂利層自体の特徴が $\rho$-$a$ 曲線には明には表われず，下層の影響とからみ合つて曲線を形成るであろう。

上の事情を一層明瞭にするため，田無における比抵分布を参考にして

$\rho_1=1$,　$\rho_2=^3/_{37}$,　$\rho_3=1$,　$\rho_4=^1/_4$




第13図　4層の理論曲線（田無の測定例と比較のための計算曲線）

し　$h_1=1,\quad h_2=2,\quad h_3=3$

$h_1=1,\quad h_2=3,\quad h_3=5$

場合の理論曲線を作つた（第13図）。最初の場合，第層の相対厚度が1，第3層が 1/2，後の場合第2層が，第3層が 2/3 で第3層は砂利層に，第2層は砂質粘に，第4層は砂混り砂利層に対応するものである。比抗値も，各層の比にほゞ等しくなるように選んだもの，$\rho_1$，$\rho_B$ を 50 kΩ-cm とすれば $\rho_2$ は約 4 kΩ-cm，$\rho_4$ 12.5 kΩ-cm となる。第13図によれば，第3層に相当る極大値は最初の場合で，層の中心までの深さの約4の $a$ のところに現われ，後の場合には約5倍の $a$ の点みられる。したがつてもし2層標準曲線で解析したとても，第3層と第4層との境界である $h_3$ の値は実際りずつと深い値が得られるし，変化も顕著なものではいから実際の曲線ではみおとすかも知れない程度のもである。

筆者らは4層以上の解析がいかに困難かを示したのであるが，このことは必ずしも浅部から3層までしか探査を有しないという意味ではない。もし，地下数 100m ものを探知しようとする場合，上部の 100m 程度まで層を等価層でおきかえた第1層とみなすことによつて層もしくは4層の場合として考察し，必要に応じて等層について補正を加えればよいのである。要は地表の探を巨視的構造の推定に用いることであつて，微細構（深さに対してでなく相対深度に対しての）の追求はの面からなさるべきことを強調したいのである。

## 5. 結　言

垂直探査法がごく浅所の構造を探知しようとする限りおいては，従来の解析法をそのまゝ踏襲するのであつも大した支障はないであろう。例えば 10m の深さののを 15m と判断したとき誤差率は50%あつても，実際の相違は5mであるからそれほど気にすることはないであろう。しかし，100m の深さのものを 150m と判断することは，同じ誤差率にもかゝわらず実用的な意味からすればずつと問題となる。したがつて，解析法をできるだけ改良して，その精度をあげるようにすることが，深部探査の実をあげる一つの解決法である。この線に沿つて，もつと解析法を掘り下げて研究してゆく必要があろう。同時に，実際の地下の電気的資料を電気検層その他の方法によつて豊富にするとともに，一歩進めて，岩石の電気的性質に関する研究を一層促進させてゆくことが，深部探査の解釈上貢献するゆえんだと信ずるものである。（昭和32年10月稿）

## 文　献


1) Carpenter, E. W.: Some Notes Concerning the Wenner Configuration, Geophysical Prospecting, Vol. 3, 1955

2) Carpenter, E. W. & Habberjam, G. M.: Method of Resistivity Prospecting, Geophysics, Vol. 21, 1956

3) Deppermann, K.: Die Abbängig Keit des Scheinbaren Widerstandes vom Sondenabstand bei Vierpunkt-Method, Geophysical Prospecting, Vol. 2, No. 4, 1954

4) Ehrenburg, D. O. & Watson, R. J.: Mathematical Theory of Electrical Flow in Stratified Media with Horizontal Homogeneous and Isotropic Layers, Trans. AIME Geophysical Prospecting, 1932

5) Flathe, H.: A Practical Method of Calculating Geoelectrical Model Graphs for Horizontally Stratified Media, Geophysical Prospecting, Vol. 3, No. 2, 1955

6) 藤田勝輔：電気抵抗式地質調査における判定方法の改良，鉄道業務研究資料，Vol. 12, No. 2, 1955

7) 清野　武：電気探鉱学（III），謄写印刷

8) Koefaed, O.: Resistivity Curves for a Conducting Layer of Finite Thickness Embedded in a Otherwise Homogeneous and Less Conducting Earth, Geophysical Prospecting,

Vol. 3, No. 3, 1955

9) La Companie Generale de Geophysique: Abaques de Sontage electrique, Geophysical Prospecting, Vol. 3, No. 3, Supplement 1955

10) Maillet, R.: Fundamental Equations of Electrical Prospecting, Geophysics, Vol. 12, 1947

11) 牧野直文：井戸内地層の電気的測定，電気試験所彙報，Vol. 18, No. 8; No. 9, 1954

12) Mooney, H. M.: Effect of a Variable Surface Layer on Apparent Resistivity Data, Trans. AIME, Vol. 199, 1954

13) Mooney, H. M. & Wetzel, W. W.: Potential about a Point Electrode and Apparent Resistivity Curves for a Four-Layered Earth, Univ. of Minnesota Press, 1956

14) Moore, R. W.: An Empirical Method of Interpretation of Earth Re tivity Measurements, Tran AIME, Vol. 164, 1945

15) 蜷川親治：千葉県多古町附近地震探査報告, 質調査所月報, Vol. 7, No. 1956

16) 小野吉彦：成層構造の見掛比抵抗曲線につい 物理探鉱, Vol. 7, No. 4,

17) Schlumberger, C. M. & Leonardon, E. Some Observations Concern Electrical Measurement in Isotropic Media and there In pretation, Trans. AIME G physical Prospecting, 1934

18) Watson, R. J. & Johnson, J. F.: On Extension of Two-Lay Methods of Interpretation Earth Resistivity Data to th and More Layers, Geophys Vol. 3, 1938

550.85 : 627.8 (521.83)

# 岡山県高梁川水系成羽川筋ダム地質概説

尾原　信彦*

# Geological Notes of the Proposed Dam Site of Shin'nariwa, Okayama Prefecture

By

Nobuhiko Obara

Abstract

The river Nariwa, one of the main tributaries of the river Takahashi, runs eastwards through the Chūgoku peneplain, carving out a narrow and deep course through the Paleozoic and Mesozoic formations. The dam site is situated along the middle stream of the river Nariwa, about 14 km west from Nariwa town. The projected dam is 94 m high, and will be the highest one ever constructed in the Chūgoku region (west Honshū). The site occupies the river valley, in where the Mesozoic silicified porphyritic tuff having an extraordinary hard property is exposed. The steep slopes of the valley sides are partially covered by talus cone, derived from the same rock.

Three dam centres (A. B. C) are proposed for comparison. The author has adopted the second one (B) in consideration of the following reason : 1) a favourable, symmetric valley shape, 2) a thinner talus debris, 3) there is no fault in the neighbourhood.

## 要　旨

吉備高原を深く刻んで東流する，成羽川の中流部の谷底・谷壁には，硬質で靭性豊かな中生界の珪岩類が露出する．この谷筋の法谷部落附近に，高さ94mのアーチダムを建設する計画がある．3つの比較中心線のうち，断層がなく，谷断面形が対称なB地点を選び，河床下に賦存するかと思われる石灰礫岩層（硯石統）が，−40m以浅に露われないことを試錐で確認したのちならば，この硬い基礎岩盤を利用して，どんな様式の高ダムでも安全に，かつ有利に建設することができよう。

このダムの川下に建設を予定されている低い調整池ダム地点数箇所のうち，蛇紋岩の露出する鍋坂地点を除けば，いずれの地点も土木地質的にみて，困難な問題はみあたらない。

## 1. 総　序

成羽川は高梁川の一支流で，その上流部は広島県側に属し，岡山県にはいつては吉備準平原を深くえぐつた峡谷状の流路をとり，成羽町近傍で小盆地を形成してのち，ふたゝび両岸は地勢相迫り，まもなく高梁市の南郊において本流高梁川に注入する。

成羽川筋の水力開発は古く，昭和6年に上流部に帝釈川ダムが完成し，同発電所の放水を取水して，南岸沿いに水路（隧道）により13km導水し，水路式の成羽川発電所で落下発電しているので，およそ半ばは開発を完了したことになつている。

しかし水量の少ない成羽川としては，水路式にたよることは渇水期に出力が落ちるので，不利である。そこで今次の水力調査では，水路式の成羽川発電所を廃して，その代りに湯野町法谷の川下約1.5km附近に，堤高94mのダムをつくつて，大貯水池を造り，そのバックウォーターを帝釈川発電所の放水位（標高233 m）に達するように設計し，豊水期に1億$m^3$の水量を確保しておいて，渇水期にも出力を落さないようにしようという計画である。

このダム式発電所の開設とともに，下記のような，さらに有効に水力を利用するために，川下にいくつかの低いダムを設けて調整池をつくり，集水面積を増加させつつ，階段式に発電してゆくことを目論んでいる。

1) 田原地点
2) 黒鳥地点
3) 用瀬地点

* 地質部

第1図 成羽川筋地質要図 (小倉 (1921)・河合 (1957) 氏に準拠して作製)

4) 佐原地点

5) 鍋坂地点

今回の地質調査は，法谷地点の踏査を主としたが，悪天候と地元の立入拒否のため思うように調査ができなかつた。また下流の階段式開発地点も時日不足のため，視察程度の調査に終えざるを得なかつた。

## 2. 地 質 概 説

成羽町の周辺は，中生代三畳紀に属する成羽層群の標式的に発達する所で，古来多くの地質学者の研究地となり，比較的に研究成果の発表されている地方である (第1図)。

さて法谷地点から高梁川への合流点まで，約 27 km の川沿いの地に覆われる地層は，下層から列挙すれば次の通りである

| | 層 名 | 地 質 年 代 |
|---|---|---|
| 1 | 変成古生層 | 未詳 |
| 2 | 未変成古生層 | 二畳・石炭紀 |
| 3 | 成羽層群 (中生層) | 三畳紀 |
| 4 | 硯石層群 (中生層) | 白堊紀中階 |
| 5 | 玢岩類 | 白堊紀上階 |
| 6 | 黒雲母花崗岩類 | 白堊紀最上階 |
| 7 | 洪積層 | |
| 8 | 沖積層 | |

### 2.1 変成古生層

千枚岩質岩石・緑色片岩類などからなる時代未詳の古生層で，成羽町の東部の成羽川沿岸から，高梁川との合流点にかけて露出し，接触変質を受け，ホルンフエルス化した硬い地層がみられる。緑色片岩類には蛇紋岩化した部分も露われている。

### 2.2 未変成古生層

石灰岩・粘板岩・チヤートなどからなる二畳石炭紀の秩父古生層であつて，成羽町の上流 2 km にある佐々木あたりから，湯野町田原附近にかけ，主として成羽川の左岸側に露出し，川沿いには特に石灰岩の発達が顕著であり，石灰焼きの小工場が散見される。

### 2.3 成羽層群

砂岩・頁岩・礫岩・凝灰岩などからなる陸成の堆積層で，所により石炭層を挟み，前記の古生層を不整合に被覆するものである。成羽川沿岸では，成羽町四周に砂岩・頁岩の互層がよく発達し，主走向は N 40～60° E で，南東に急傾している。岩質がやゝ軟かいので，河谷は横侵食により拡げられ，川沿いに平地がみられる。

### 2.4 硯石層群

関門海峡の赤間産の硯石を出す地層がこの地方に局部的に顔をだし，主として赤色の凝灰岩・赤色砂岩泥岩，および石灰岩の礫を含む礫岩などからなる白堊紀の堆積層で，成羽町の北西方の丘陵に発達する。成羽川に沿つては田原から法谷地点にかけて，局部的ではあるが，礫岩と赤色凝灰岩とが露出するのを認めた。

### 2.5 玢岩類

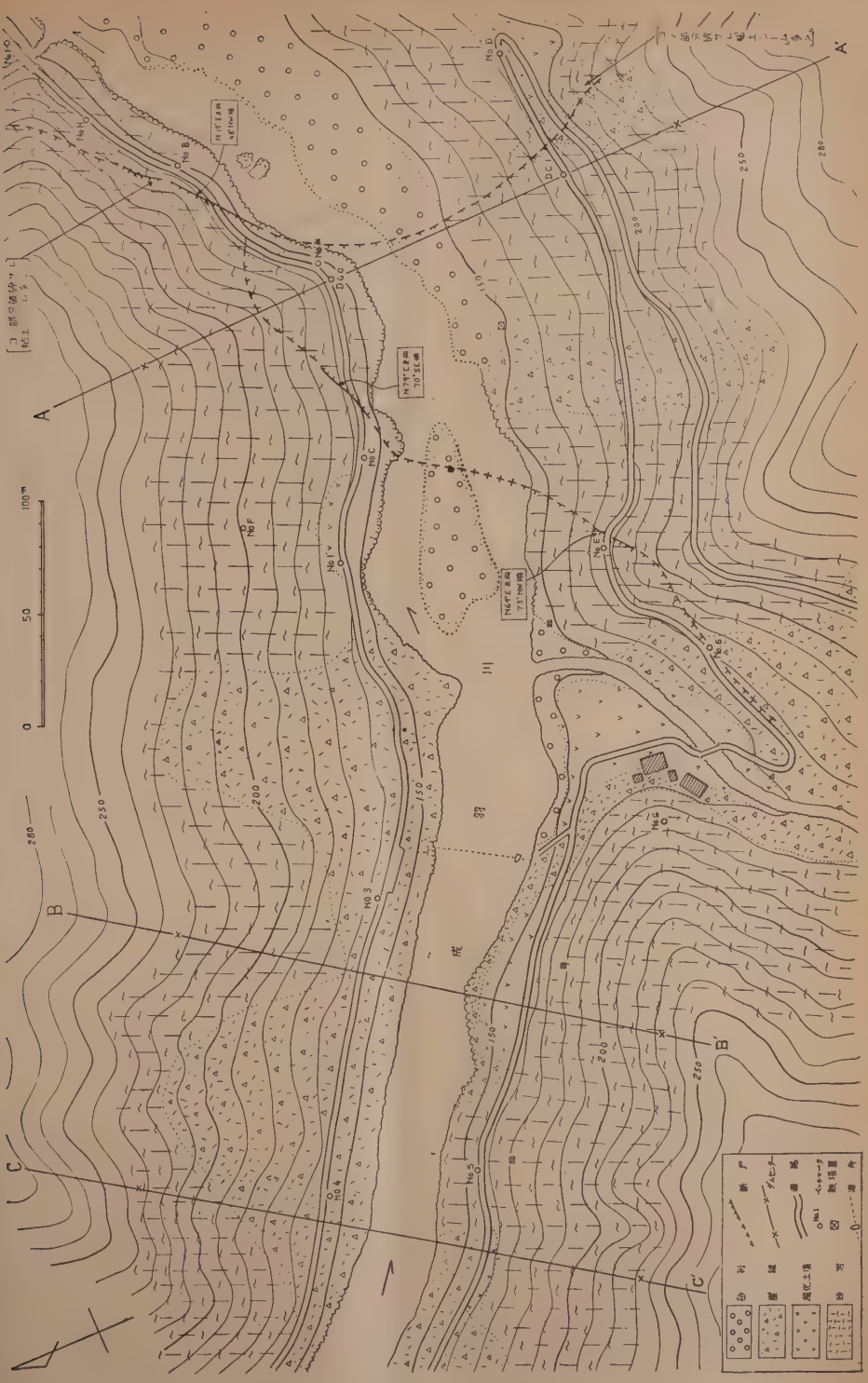
硯石層群の堆積期ないしその直後の火山活動の旺盛な時期の産物であつて，熔岩流型のものおよび凝灰岩・集塊岩の痕跡をとゞめるものなどがあるが，何分にも長い地質年代を経過したために，自ら変質して肉眼ではどの部分が熔岩で，どこが凝灰岩質であると判別するのが困難になつている。外観は淡緑色を呈する硬い岩石で，田原から法谷を経て，さらに上流地方の沿岸に顕著な発達をみる。

### 2.6 花崗岩類

成羽町の下流 2.5km および同町の上流 3km の成羽川沿岸に露出する。

### 2.7 洪積層

いわゆる山砂利層で，吉備準平原の上に堆積するもので，成羽川沿いには直接露われてこない。




第.2 図　新成羽川(法谷)地点表層地質図

### 3. ダム地点の地質

筆者は主要地点である新成羽川地点（法谷）を，500分の1の地形図により，道路沿いに踏査したが，既述の通り，土地所有者の立入拒否にあい，ダム中心線沿いに山腹に登つて調査することができなかつた。

また下流の階段式調整池ダム地点は，5万分の1地形図を頼りに，雨の降るなかを概観したにとゞまり，不完全を免れなかつたが，各地点の地質的特色だけは把まえることができた。

**3.1 新成羽川ダム地点**（法谷地点，第2図）

こゝは第4次包蔵水力調査の主力対称地点の一つであり，こゝにダムができあがれば，成羽川は経済的には相当に有力な存在となるものと期待されている。

成羽川はこの辺りでは吉備準平原（標高 550～600 m）を比高 −400m の深い峡谷をなして，南東方向に流れている。したがつて高地の方には部落・耕地がひらけ，溪谷の底は平地に乏しく，ほとんど部落も耕地もない非生産的な所となつており，僅かに1本の道路が通じて交通路となつているにすぎない。

今回ダム建設を予定される地点は，法谷部落の下流 1.5kmの箇所で，下郷部落（旧平川村）附近から北流してくる支流との合流点附近に該当する。

**地形** 帝釈川発電所の放水位 233m を満水位の上限として抑えられるので，深い溪谷の割にあまり高いダムが計画できない。ダムの中心線候補地がA，B，Cの3つある。

Aは前記の合流点の川下に位し，谷形をみると左岸側はやゝ急勾配（40°）であるが，右岸側斜面は傾斜が劣つている。河床の洲の幅が50mあつて，谷断面は倒梯形をなしている。天端長は 260 m，堤高は 93 m，両者の比率は 1.00 : 0.36 である。

BはAの川上 350m にあり，合流点より川上である。川幅が最も狭い箇所（幅 25 m）にあたり，左右両岸の山腹の勾配は 40～50° でほゞ対称形をなすが，右岸の頂は支流の影響をうけて鞍部を形成している。天端長は 220 m，堤高は 90m で，両者の比率は 1.00 : 0.41 である。

CはBのさらに上流 100 m の箇所であつて，地形はBと大差がない。たゞ右岸の頂は地山が厚く安定している。

**地質** 第2図に示す通り，こゝは淡緑色ないし淡紫黒色を呈する玢岩類の発達する所であり，谷壁には一部同岩類の崩壊により崖錐が溜つているほか，河床部に砂利の洲および河岸に小規模の段丘が僅かにみられる。道路に沿つて踏査した限りでは，玢岩の基底にくる古生層また硯石層群の凝灰岩・石灰礫岩層もみられなかつた。しかしこのダム地点の川下 1.5 km あたりには，県道の脇に硯石層群の赤色凝灰岩・角礫岩が露われており，同じく約 2.0km 下流に石灰礫岩層が露出していたから，こゝの玢岩は基底が浅いのではないかという印象を得た。

第2図に示す通り，A中心線附近には2本の断層が認められ，双方とも粘土を挟み，とくに下流側の断層は中規模の大きさを有し，破砕帯を伴なつていて，玢岩は相当にもまれて，粘土シームを噛んでいた。県道の曲線を描く附近で両断層が合体しているようである。

B中心線附近には断層はみあたらなかつたが，左岸側の趾部に崖錐の堆溜を認めた。

C中心線附近にも断層はみあたらないが，左岸側斜面の崖錐は大規模で厚さも相当にあるようであつた。

以上の観察から，筆者はB中心線が最も好條件に恵まれていると判断した。そして次に，こゝに露出する玢岩の岩質が問題となるが，帰庁後の検鏡の結果では，斑晶にはカリ長石・斜長石・石英が多く，石基には長石微晶および角閃石から自変した緑泥石が認められ，大体の構造はむしろ凝灰岩型のようであつた。硬さは秩父古生層中の硬砂岩の程度であつて，脆さがなく，何となく粘りある硬さ（二靱性）があるように感じた。ダムの基盤としてはまず申分のないものである。したがつて地形と見較べて，重力ダムの建設は可能であり，崖錐の掘鑿を厳わなければ，アーチダムの可能性も充分にあると考えられる。

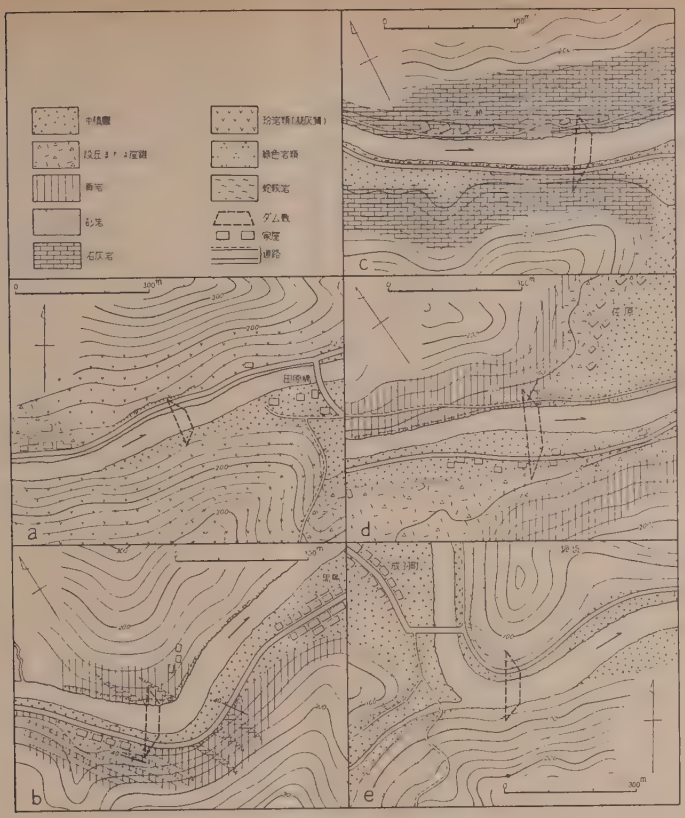
前述したように，基底が浅そうに思われるので，ボーリング横坑により他の岩類のでないことを確かめる要がある。河床部ではB中心線と川筋との交点で約 40 m の垂直ボーリング1本，さらにその下流 70m 辺りに 40m のボーリングが望ましい。両斜面は横坑で探ることとし，下段（比高+10m），中段（比高+45m），上段（比高+80m）において，奥行30mづつ掘鑿して岩質を確かめることを進言したい。もし玢岩以外のものがでてこなければ，まず問題はないと思われる。

**3.2 下流の調整池ダム地点**

新成羽川地点（法谷）は，中国地方では最高のダムとなるが，その下流に予定されている各調整池ダムはいずれも 10～20m 級の低いダムである。とくに綿密な地質調査の要はないが，筆者の観察した事項を一括して次に記載しておく。

**田原地点** 堤高20m（第3図a）

田原橋の上流 350 m の所にあり，このダムは新成羽




第3図　成羽川筋調整池ダム地点地質見取図
a：田原地点　b：黒鳥地点　c：用瀬地点　d：佐原地点　e：鍋坂地点

発電所を法谷地点の直下に設ける際のみ建設される所である。岩質は玢岩質の凝灰岩で，硬度きわめて大きく，良好な地点であるが，河川敷の幅がやゝ広いから，いま少し川上に移した方が良い。

**黒鳥地点**　堤高10m（第3図b）

右岸に平地がひらけ畑となつており，左岸側は直ちに川に臨んでいる。地質は古生層の砂岩・黒色粘板岩の互層で，走向 N40°W で直立している。少し下流に移ると傾斜は北に 60° となり，石灰質の黒色粘板岩に変わる。

**用瀬地点**　堤高13m（第3図c）

川床から堤頂水準までは右岸側の方が，地形勾配は緩やかである。ダム地点の上流に石灰焼工場があり，ダムをつくれば水没する。地質は古生層に属する石灰岩である。ダム高が低いから，石灰岩を気に止める必要もないが，たゞ漏水の恐れは皆無ではない。

**佐原地点**　（第3図d）

成羽町の西郊に位し，成羽川は左岸側に寄り，右岸側には水田がひらけている。左岸側には中世代の黒色頁岩（成羽層）が露出し，走向 N63°E で，SE に 50° 傾斜している。あまり硬くはない。右岸側は段丘のようで，その段丘を隔てて南側に成羽層が発達するようであるがそれに達するまで掘鑿するとすれば，堤長は膨大なものとなろう。

**鍋坂地点**　（第3図e）

成羽町の東郊に位し，目下架橋工事をしている箇所である。変成古生層に属する緑色片岩の発達する所で，道路脇の切割に蛇紋岩が露われていた。この地点はダム建設を見送つた方がよい。

## 4. 結　　語

成羽川はもともと水量の少ない河川（100km² 当り比流量 1.45m³/sec）である。既設の成羽川発電所（岡山県川上郡旧平川村井川）を水路式から貯水池式に改め，豊水期の水を貯えて使用することにより，年間発生電力量の増加をはかるという構想のもとに，湯野村法谷に高さ94mの高堰堤を設ける案が立てられた。この高さは中

国地方では空前の規模であり，地質の良否が土木工事に直接的な影響を与えるという見解の下に，公益事業局の要請に基づき，地質概査を実施した。

(1) 法谷地点は玢岩類の発達する渓谷を占めるが，この地点の 1～2km 下流に玢岩類の下位にあたる硯石統の赤色凝灰岩層または石灰岩の礫岩層が露出しているところから判断して法谷地点の基底に硯石統が浅く潜在する疑いがある。これは試錐によらなければわからない。

(2) 法谷地点の玢岩は検鏡の結果では硬結した凝灰岩型のように判ぜられ，きわめて硬質で，かつ靱性に富み，ダムの基盤としては適当であると思われた。

(3) 法谷地点にはダム中心線の候補箇所が 3 通り (A, B, C)考慮されていたが，Aは谷形がひらけているうえ，中規模の断層が通つているので避けた方がよく，B，Cは谷形は良好で甲乙はないけれども，Cには谷壁に崖錐が厚く堆溜しているので，Bを採用した方が有と考えられる。

(4) 調整池ダム地点として，田原・黒鳥・用瀬・原・鍋坂などが順次に下流側に予定されている。いずも堤高が 20m 以下であるから，地質條件の影響は少いが，だゞダム地点に蛇紋岩の露出している鍋坂地点みは放棄した方が無難である。 (昭和32年 6 月調査)

## 文 献

1) 河合正虎：中国山地における後期中生代の地殻動について (成羽炭田の地質学的研究 その1)，地質学雑誌，Vol. 63, No. 740, 1957

2) 小倉 勉：7万5千分の1地質図幅および同説明書，庄原，地質調査所，1928

551.48/.49 : 550.84/.85 (521.27) 62

# 荒川および江戸川下流工業用水源地域調査報告

## — 関東西部地域調査　第5報 —

蔵田　延男*　森　和雄*　池田　喜代治**

# Ground Water Researches for Fabric Industry in the Eastern Part of Tōkyō on the Right Side of the Edo River

By

Nobuo Kurata, Kazuo Mori & Kiyoji Ikeda

Abstract

An investigation of the ground water resources in the eastern part of Tōkyō, Edogawa ward and Katsushika ward, was carried out in 1957, in succession to that of the preceding year.

In this area, the ground water is contained in diluvial sediments amounted to 300～400m in thickness, and the shallow water is bad, but the deep is good in chemical character.

Judging from the chemical character, it distinguishes the ground water in this area from that of the preceding investigation area (shown on the Bulletin of the Geological Survey, Vol. 8, No. 10, 1957). Kōtō and Tōhoku regions of Tōkyō. The ground water in this region belongs to carbonate alkali on the key diagram, but that in the preceding area is characterized in variety of carbonate hardness, carbonate alkali and non-carbonate alkali.

The ground water utilized for fabric industry in this area is only 75,000 cub. m per day, but the land-subsidence is intensively expanded near the right bank of the Naka river.

For water conservation, the ground water utilization should be restricted and advised to keep the moderate pumping condition.

## 要　旨

1. 関東西部地域の水調査の一環として，荒川—荒川放水路と江戸川との中間地帯，すなわち東京都江戸川区および葛飾区と，一部市川市にわたる地域の工業用水源について調査を行い，併わせて都北地区の工業用水調査を補足した。さらに地質調査所月報第8巻第10号に報告した江東・都北の水質分析結果を再検討し，今次の分と合わせて荒川および江戸川下流一帯の地下水の水質について総括的なとりまとめを行つた。

2. 荒川放水路～江戸川中間地帯および市川市では江戸川・中川の表流 82,000m³/日のほかに，実測 65,000m³/日余，そのほかの分を合わせて 75,000m³/日前後の地下水が工業用に供せられている。

3. この地域では特に洪積層が厚く発達しており，100m級の深井戸が掘鑿されている。また 5,000m³/日級の大量揚水井がある。帯水層は砂層が主であるが，特に江東・都北地域と相違あるような著しい特徴はない。

4. 一般に浅層部は 2,000～3,000Ω-cm 台の低い水比抵抗を示し，揚水量に対する水頭降下の割合が大きい場合が少なくない。これに対し深層部，特に 200m 以深の部分では，7,000～8,000Ω-cm という高い水比抵抗を示し，湧出量が大きな良質の帯水層がある。たゞしそうした深部の地下水は，その水温が 21～22° C 台になつている。

5. 圧力面の低下は一般に顕著で，粘土質の地層が厚く発達している中川右岸地区では，揚水量の増加に伴ない，地盤沈下が進行しており，地質状態からみても今後その促進・拡大が予想できる。

6. 埼玉県草加町附近から南東方に向かう地下水の透水帯が推定される。この透水帯は都北—江東にかけての透水帯と別個のもので，おそらく利根川水源に関係のある地下水の有力な流動部と考えられる。今後この供給径路，供給規模の調査が必要となつた。

* 地質部
** 技術部

7. 都北地区の補足調査により，前回報告の地下水利用量はさらに 22,560m³/日増加した。

そして少なくも新河岸川沿いには地盤沈下が激化している事情が確認された。

8. 水質分析結果を総合すると，荒川放水路を境界としてその右岸では地下水は内陸部から臨海部に向かつて，carbonate hardness → carbonate alkali → noncarbonate alkali の順に推移して行く一連の水質変化を示しているのに対して，左岸では水質の地理的変化が乏しく，すべて carbonate alkali に属しており，化学成分の組成のうえからも，荒川水系および利根川水系の 2 種の異なつた地下水系が推定できる。

9. 左右両岸ともに $SO_4^{2-}$ が少なく，$Cl^-$ は浅層部よりも深層部にむしろ少ない傾向を示している。特に右岸江東地区の地下水に，contamination を与えたと思われる塩水は，ガス水の影響を受けているものと，直接海水の影響を受けているものとがあることが指摘される。

10. 水源保全の立場から，荒川水系・利根川水系の 2 つの地下水系をそれぞれの特徴に応じて取り扱い，対策をたてることが望ましい。特に左岸地区については，今後急激に地盤沈下の起る可能性のある点を重視し，浅層部の収水を抑制し，深層部の開発をすゝめ，賢明な工場配置を考慮することが必要である。

## 1. 序 言

関東構造盆地の東京湾への排水口にあたつている常総台地と山の手台地との切れ間は，千葉県国府台と東京都上野公園との間で最も狭まり，その距離 12km となつている。このなかに挟まれて西から隅田川・荒川放水路・中川放水路および江戸川の諸水路があるが，このうち荒川放水路右岸にあたる江東地区一円は，人家の密集した市街地を構成し，地盤沈下が進み，地質調査所月報第 8 巻第10号に報告したような水理的環境をもつている。これに対して荒川放水路左岸は，地質的には古利根川の三角洲であり，現在なお低湿な冲積平野の景観を保つており，工業立地地盤としてはまだ開発の度が低いが，江東地区に近い中川放水路附近にはすでに地盤沈下が認められ，しかも工場の新設・拡張が比較的有利に行われる部分が広い面積を占めているので，近い将来に水保全の適当な対策を必要とする地域と考えられる。

こうした観点からこの荒川・江戸川中間地域を関東平野西部地域調査の一環としてとりあげ，昭和 32 年に調査を行つたのである。

たまたまこの地域で，荒川水系の地下水と利根川水系あるいはその他の供給源からくる地下水とが接触，混交するであろうことを予想していたので，水質に注意し，先回報告の江東，都北地区の補足調査，水質分析結果再検討などを行う余裕をもちえた結果，いくらか新た知識を加ええたので，こゝにそれらをとりまとめて記することとした。したがつて一部は重複することにもつたが，地質調査所月報第 8 巻第 10 号，東京都江東および都北工業用水源地域調査報告と併わせて御覧願い い。

## 2. 調 査 規 模

第1図 調査範囲図
太線区画内：江戸川下流地域工業用水源実測範囲
條線区画内：東京都江東・都北地区を含む水質分析結果総合解析範囲

調査期間 昭和 32 年 6 月 16 日～同 30 日

調査範囲 東京都江戸川・葛飾両区および市川市埼玉県，東京都足立・北・板橋 3 区のそれぞれ一（第 1 図参照，なお関係地形図は 5 万分の 1，東北部，および同東南部）

調査対象 工場 40

井戸・表流そのほか実測した水露頭約 180 カ所

水試料分析 44 カ所

（第 5 表 No. 95～No. 129 および第 4 表中の 9 カ

水試料分析結果の総合解析

（水質分析表第 4 表～第 5 表の全部）

調査・分析作業の担当

野外調査および工場巡検は蔵田延男・森和雄が主て行い，池田喜代治は分析水試料の採取，現場分たずさわつた。その後池田は室内分析を行うとに，江東・都北地区の水質分析結果の再検討を蔵田とともに総合解析にあたつた。なお水試料は安藤武が分析した。

### 3. 荒川・江戸川中間地帯の水環境

（この地域における調査規模は，対象工場 27，井戸などの調査測点約 140 カ所，水質分析 35 カ所である。）

#### 3.1 水の分布

調査地域はいわゆる古利根川の三角洲とその脊後地の一部を占め，東に江戸川，西に荒川放水路をようし，この間にあつて東から大場川・古利根川——→中川・葛西用水・綾瀬川などの表流が関東平野内陸部から流れ出してきている。概して地下水位は浅く，調査地域内随所に低湿地が存在している。しかしこれらの表流は江戸川を除けば，ほとんど排水河川かあるいはそれに近い性質を呈しており，伏流あるいは河岸地下水として利用の対象になるような部分はきわめて乏しい。従来知られている限りでは，地下における洪積層の厚さは著しく厚く，300 m級の深井戸がなお洪積層中の地下水を揚水している。

地下深部における帯水層の発達は，地域の大部分について非常によい条件にあるように考えられる。湧出量も大きく，揚水量に対する水頭降下の割合は，深度 150m 前後まではそれほど小さくないが，150m 以深では都北地区に優るとも劣らぬくらい小さくなる。

一般に地下水理は複雑なように思われるが，工場井戸など適当な測点が偏在しているので，全域について正確な関係は求めにくい。少なくも荒川放水路寄りの一帯には，荒川放水路の右岸江東地区におもに分布する地下水に関係の深い地下水が認められる。しかし荒川放水路左岸の，特に古利根川—中川沿いの一帯から東側にかけては，利根川水系～古利根川あるいは常総台地の方から供給されていると考えられる，別の地下水がひろがつているように観取される。

このうち利根川水系—古利根川に関係すると思われる地下水は，調査地域の北半部にあつて，以前から掘抜井戸として家庭用に供されていたが，十数年来自噴の停止，湧出量の減少，水質の悪化に悩まされている。これらが直ちに下流側—調査地域南部——一帯の開発が進んだことに原因しているとは速断できないが，少なくもこのあたりの地下水は，水質的にも水理的にも，荒川水系の地下水とは相違しているようである。なお深部に非常に良質の地下水があることもこの部分の特徴である。

江戸川左岸，市川市側には比較的浅く豊富な被圧面地下水が分布している。これらの供給源についてはまだ明らかに示せないが，常総台地から供給される地下水がその一部には含まれているように推定される。

#### 3.2 水利用

調査地域内における河川，水路の大部分は上流側からの各種排水の混入のため，かなりに汚染を受けており，将来も汚染度の高まる可能性が大きい。江戸川のみが辛うじてその例外であり，東京都金町浄水場取水源（550,000m³/日），本州製紙K. K. 江戸川工場（23,000m³/日），三菱製紙K. K. 中川工場（25,000m³/日）（以上右岸，東京都側），北越製紙 K. K. 市川工場（10,000m³/日）（左岸，千葉県側，ほかに千葉県営水道取水源が松戸市にある）などがいずれもその表流に依存して水を得ている。このほか，中川にはその右岸に日本紙業 K. K. 亀有工場（12,000m³/日）が表流を利用している，しかし多数の化学・染色・製鋼・金属・食品・機械関係の工場群は，上水道とともにおもに地下水を利用しており，井戸数は調査対象工場 25 について 1 工場当り平均 2.5 本となつており，さらに漸増の傾向にある。

第 1 表　江戸川・葛飾両区および市川市用水型工場の用水取得量

| | 河　水 | 上水道水 | 地下水 | （循環） | 総　量 |
|---|---|---|---|---|---|
| 江戸川区<br>葛飾区 | 71,665 | 766 | 44,800 | 9,480 | 126,711 |
| 市川市 | 10,480 | 115 | 20,850 | 0 | 31,445 |

（単位　m³/日）

註）実測工場数　東京都 20，市川市 7，このほかの工場用地下水利用量約 10,000m³/日（推定）

調査地域内の工業用水取得量は，第 1 表の通りであるが，地域内全体としての地下水利用量は一般家庭用の井戸および一部残存している掘抜井戸の自噴などを合わせて，最盛期にはおそらく 100,000 m³/日に近づくものと推定される。

### 4. 荒川放水路左岸地域調査成果

#### 4.1 工業用水源の現況

東京都江戸川および葛飾両区に所在する，用水型工場 20カ所の実測調査結果は，第 2 表の通りで，地下水依存度は水量で 35 %に止まるが，工場数では 95 %を占めている。井戸収水深度の明確なものが少ないが，少なくも 45m 以深 120mまでに 3 層，さらに 200m までに 3～4 層の帯水層があり，200m 以深の井戸が数本存在するしたがつて一般に江東地区より鑿井深度が大きい。また揚水ポンプとしてもボアホール 7 吋 75 IP あるいは 8 吋 115 IP というような強力なものが利用されている点も注目に値する。

市川市所在の 7 工場についての実測結果は，第 2 表の No. 21 以下に示されている。地下水依存度は水量で 70

第 2 図 荒川および江戸川下流地域工業用水源調査要図

%弱であるが，工場数では100%を占めている。鑿井深度はおゝむね150m どまりであるが，全体として比較的よい條件で地下水を使用している。

### 4.2 帯水層の分布

収集された鑿井地層図は，井戸数の割合に必ずしも多くはない。収集されたもののうち代表的なものを第3図に示した。これによつてもわかるように，利用可能な帯水部は砂層が多く，砂礫層は薄く，またその礫も一般に細かいものが多い。

地層図を並べると深度80～120m 附近を境界として，それより上方には比較的厚い地層が，またそれより下方には比較的薄い地層が重なつている。しかし仔細にみると特に上下の明瞭な区別は困難となる。一般に東京都側では少なくも第三紀層中にはいると地下水が黄褐色に着色しており，第三紀層上側の洪積層中にも部分的にこの着色水が混入している。しかし三菱製紙K. K. 中川工場あるいは日本紙業K. K. 亀有工場の深度300m 級の深井戸にあつては，その水質は清澄できわめて良質であるところからみると，その収水部は，洪積層の基底からなおまだかなり上層位の帯水層中にあるものと推定される。

また江戸川化学工業K. K. あるいは聯合紙器K. K. の記録によると，それぞれの地層が井戸全長に対して占める割合は，粘土層約10%，砂層約20%，礫質部20～30%で，残りが砂混り粘土～粘土混り砂の層となつている。

特に中川右岸—荒川放水路左岸の地帯では，その砂混り粘土～粘土混り砂の層が，40～50m の厚さにわたり，かなり厚く連続し，深井戸群の最上位収水層を覆つている関係になつている。これは多分軟弱な堆積層の一部分に相当するものであり，経験的に知られている範囲で，地盤沈下誘発の可能性の大きな地質條件とみられる。

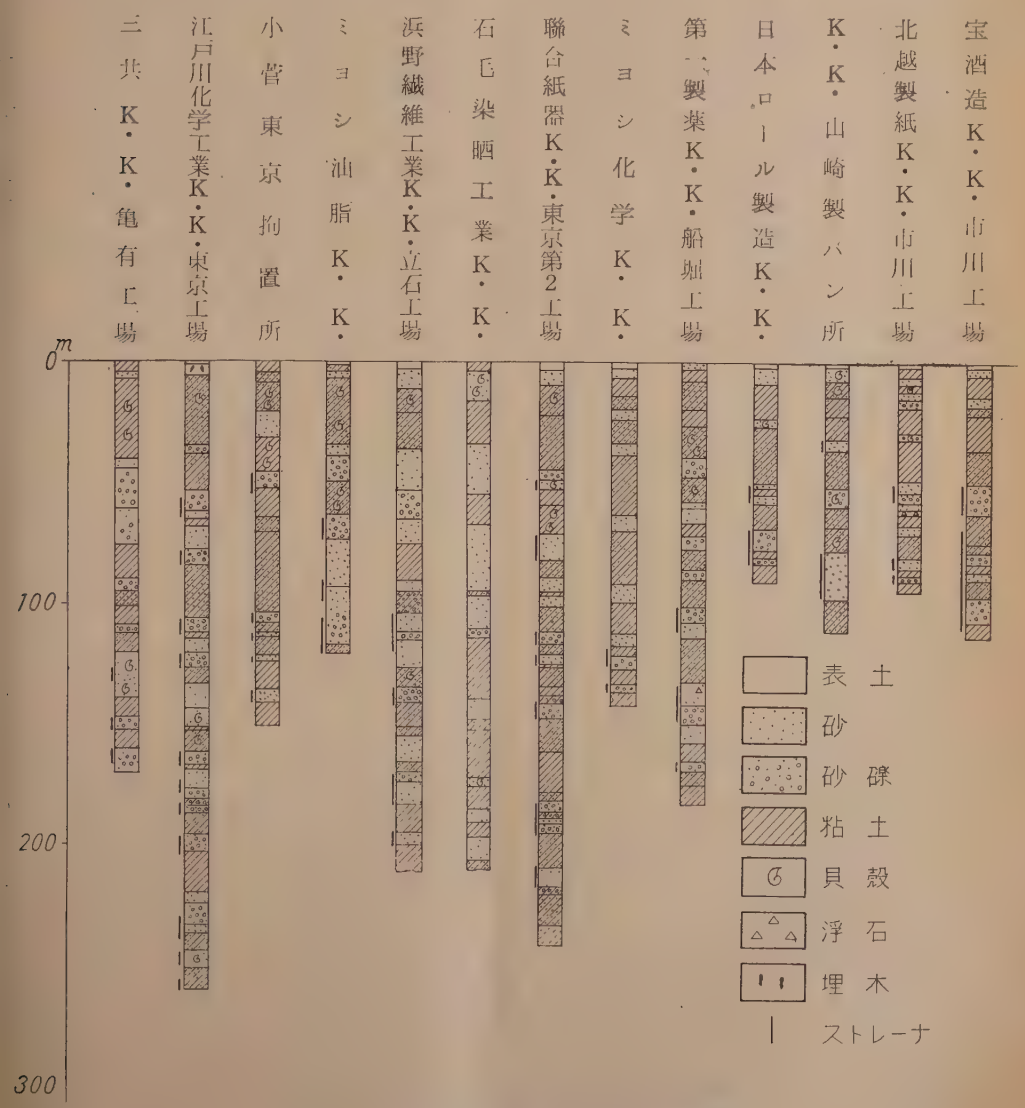
これに比較すると江戸川沿岸，市川市地域などでは，概してかための地層が地下浅部から発達している。

### 4.3 井戸揚水量と水位降下との関係

この調査地域内の深井戸は35m 以深330m までの間の多数の帯水層から収水する多層収水井がほとんどであ

るため，揚水量に対する水位降下の関係について，正確な数字を求めることは困難である。しかし一般に浅層部の収水井より深層部の収水井の方が揚水量に対する水位降下の割合は小さく，したがつて深度200～300 m 級の井戸は概して僅かな水位の降下で大きな揚水量を加えている。

一般に深度100m 前後の井戸は，2,000m³/日の揚水量に対し10m 前後の水位降下を示している。しかし荒川放水路沿いでは1,800m³/ 日に対して4 m，また江戸川河畔では深度70～80mの井戸で4,000m³/日 以上の揚水量に対して水位降下6 m程度のものもある。深度150 m 前後の井戸では一般に2,000m³/日の揚水量に対し，水位降下6～7 mで，100 m 前後よりいくらかすぐれている。さらに200m 以深の井戸は揚水量に対する水位降下が小さくなつており，聯合紙器K. K. の240 m 井が6,700 m³/日 に対して8.5 m，江戸川化学工業K. K. の260m 井が4,000m³/日 に対して同じく僅か数 m，日本紙業K. K. の330m井が5,500 m³/日に対して15mとなつている。三菱製紙K. K. の325m井は大正5年の掘鑿であるが，当時4 mの水位降下で2,000m³/日 の揚水を行いえており，現在静止水位において4 m の低下を生じ13mとなつているが，なお調査地域内で最良（水比抵抗




第3図　荒川および江戸川下流地域工場用井戸並井地層断面図

第2表 葛飾・江戸川両区および市川市における

| 番号 | 工場名 | 所在地 | 水源別取得量（m³/日） 総量 | 川水 | 上水道水 | 地下水 | （循環） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ミヨシ油脂K.K. | 葛飾区小菅町 | 12,425 | 7,725 | — | 4,700 | — |
| 2 | 聯合紙器K.K.東京第2 | 〃 上千葉 | 6,700 | — | — | 6,700 | — |
| 3 | 石毛染晒工業有限 | 〃 本田四ツ木町 | 1,750 | — | 400 | 1,350 | — |
| 4 | 日本紙業K.K.亀有 | 〃 亀有町 | 20,000 | 12,000 | — | 8,000 | — |
| 5 | 三共K.K.亀有 | 〃 亀有町 | 1,300 | — | — | 1,300 | — |
| 6 | 江戸川化学工業K.K.東京 | 〃 新宿町 | 7,500 | 2,500 | — | 5,000 | — |
| 7 | 三菱製紙K.K.中川 | 〃 新宿町 | 27,000 | 25,000 | — | 2,000 | — |
| 8 | 東洋インキ製造K.K. | 〃 青戸町 | 1,200 | — | 70 | 1,130 | |
| 9 | 有限会社田辺染晒 | 〃 青戸町 | 370 | — | — | 370 | — |
| 10 | 旭染色工業有限 | 〃 本田梅田町 | 2,100 | | 100 | 2,000 | |
| 11 | 特殊製紙K.K. | 〃 本田立石町 | 500 | — | | 500 | |
| 12 | 浜野繊維工業K.K.立石 | 〃 本田立石町 | 1,500 | — | — | 1,500 | |
| 13 | 大同製鋼K.K.平井 | 〃 平井仲町 | 5,800 | | — | 1,800 | 4,000 |
| 14 | 東京製鋼K.K.船堀 | 江戸川区西船堀町 | 576 | | 16 | 80 | 480 |
| 15 | 第一製菓K.K.船堀 | 〃 南船堀町 | 4,500 | — | | 4,500 | — |
| 16 | 中央製紙K.K. | 〃 東船堀町 | 1,440 | 1,440 | | | |
| 17 | ミヨシ化学K.K.江戸川 | 〃 東篠崎町 | 470 | | — | 470 | |
| 18 | 本州製紙K.K.江戸川 | 〃 東篠崎町 | 23,180 | 23,000 | 180 | — | |
| 19 | 日本ロール製造K.K. | 〃 西一之江町 | 400 | — | | 400 | |
| 20 | 東京電力K.K.花畑変電所 | 足立区六町 | 8,000 | | | 3,000 | 5,000 |
| 21 | 市川毛織K.K.市川 | 市川市市川 | 1,655 | 480 | 75 | 1,100 | — |
| 22 | 北越製紙K.K.市川 | 〃 市川本行徳 | 12,600 | 10,000 | — | 2,600 | |
| 23 | 宝酒造K.K.市川 | 〃 市川 | 3,675 | | 25 | 3,650 | |

工場水源の現況　(昭和32年6月現在)

| 用途 | 井戸規模 | | | | 揚水施設 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 番号 | 孔径 (吋) | 深度 (m) | 井戸ストレーナーの位置 (m) | 種類 | 吐出口径(吋) | 馬力 (HP) |
| c, w. m. b | 1 | 10 | 120 | 61～71, 106～112 | BH | 4 | 30 |
| | 2 | 12 | 120 | 61～67, 78～85, 91～97, 103～109 | BH | 5 | 40 |
| | 3 | 12 | 120 | 63～73, 88～100, 105～121 | BH | 5 | 40 |
| m, w. b | 1 | 14<br>10 | 240 | 48～52, 89～97, 112～117, 121～126,<br>142～147, 182～196, 210～219 | BH | 8 | 115 |
| w, b | 1 | 8 | 130 | — | AL | 4 | 12 |
| | 2 | 12 | 275 | — | BH | 6 | 30 |
| m, w. b | 1 | 12 | 260 | — | BH | 6 | 50 |
| | 2 | 14<br>12 | 330 | — | BH | 7 | 75 |
| c, w. b | 1 | 12.5 | 210 | — | BH | 6 | 40 |
| | 2 | 12.5 | 210 | — | BH | 5 | 30 |
| | 3 | 12<br>10 | 170 | 44～56, 128～134, 149～155, 161～166 | BH | 5 | 50 |
| m, w, c<br>b | 1 | 14<br>12<br>8 | 260 | 54～63, 79～85, 108～113, 122～128,<br>164～169, 175～180, 184～189, 192～205,<br>232～243, 246～252, 251～260 | BH | 8 | 50 |
| | 2 | 16 | 135 | — | BH | 5 | 15 |
| w, m, b | 1 | 12.5 | 320 | — | BH | 6 | 30 |
| w, b, c | 1 | 8 | 166 | — | BH | 4 | 15 |
| | 2 | 8 | 152 | — | BH | 4 | 15 |
| | 1 | 6 | 114 | — | BH | 4 | 7.5 |
| | 2 | 8 | 114 | — | BH | 6 | 15 |
| w, b | 1 | 8 | 170 | — | BH | 3 | 15 |
| | 2 | 8 | 117 | — | BH | 3 | 15 |
| | 3 | 4 | 117 | | AL | | 15 |
| w, m, b | 1 | — | 150 | — | | 6 | 35 |
| | 2 | — | 120 | — | | 3 | 15 |
| w, b | 1 | 16 | 109 | — | BH | | 40 |
| | 2 | 14 | 210 | 103～119, 135～140, 170～182,<br>193～199 | BH | 6 | 50 |
| b, w, c | 1 | 12 | 100 | — | BH | 6 | 30 |
| b, w, c | 1 | 6 | 108 | — | AL | 4 | 100 |
| c, b | 1 | 12 | 120 | 61～76, 103～115 | BH | 4 | 30 |
| | 2 | 14 | 180 | 100～110, 132～150, 165～169 | BH | 6 | 50 |
| | 3 | 14 | 156 | 85～92, 103～110, 116～122, 145～156 | BH | 6 | 50 |
| | 4 | 8 | 83 | | AL | 4 | 15 |
| | 5 | 6 | 44 | — | AL | 3 | 15 |
| | 6 | 6 | — | — | AL | 3 | 15 |
| | 7 | 6 | — | — | AL | 3 | 15 |
| w, m, c | — | — | — | — | | | |
| c, b | 1 | 8 | 142 | 117～126, 132～137 | BH | 4 | 20 |
| | 2 | 8 | 75 | 64～71 | BH | 4 | 10 |
| | 休井 | 14<br>8 | 184 | 108～114, 129～134, 142～147,<br>152～156, 162～167 | | | |
| m, w, c | - | - | - | - | | | |
| c | 1 | 12 | 90 | — | SB | 4 | 25 |
| c | 1 | 10 | 151 | — | BH | 4 | 30 |
| | 2 | 10 | 147 | — | BH | 4 | 20 |
| c, b | 1 | 14 | 151 | 45～53, 77.5～83, 94～104,<br>116～119, 128～135 | BH | 6 | 50 |
| c, b, w | 1 | 12 | 91 | — | BH | 6 | 20 |
| m, w, b | 1 | 12 | 115 | | BH | 4 | 25 |
| c | 2 | 14 | 115 | — | BH | — | — |

| 番号 | 工場名 | 所在地 | 水源別取得量（m³/日） 総量 | 川水 | 上水道水 | 地下水 | （循環） |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 24 | 市川製紙 K. K. | 市川市鬼高 | 2,900 | — | — | 2,900 | — |
| 25 | 日本毛織 K. K. 中山 | 〃 鬼高 | 10,000 | — | — | 10,000 | — |
| 26 | 中央冷蔵 K. K. 市川製氷 | 〃 市川 | 315 | — | 15 | 300 | — |
| 27 | K. K. 山崎製パン所 | 〃 市川 | 300 | — | — | 300 | — |

註1） 工場番号は工場および井戸分布図参照。
2） 用途欄中 c：冷却用，w：洗滌用，m：原料用，b：ボイラー用，ca：温湿度調整用の略
3） ポンプ種類中 BH：ボアホール，AL：エヤーリフト，SB：水中モーターの略

8,000Ω-cm，たゞし水温 21.5° C）の水を得ている。

なお上述聯合紙器 K. K. の 240m 井は中尾式BH. 8吋 115 HPという都内最大規模の施設で揚水を行つている。これらの井戸群を通じてみるに，揚水に伴なう排砂は一般に多いが，江東地区にみられるほど顕著ではない。

### 4.4 圧力面の低下および地盤沈下

調査地域内深井戸群にみられる圧力面の低下は一般に著しく，その数値は江東・都北地域に比較して優るとも劣らないくらいである。周辺の地下水利用度がその割合に低いことを考慮すると，江東・都北地域よりむしろ大きいとみることができる。例えば三菱製紙K. K. では前述のように大正5年以来4m程度に止まつているが，日本紙業K. K. では昭和13年静止水位 9 m前後であつたのが昭和28年12～15mに，東洋インキ製造K. K. では21年間に 11 m（青戸工場1号井），8年間に 10 m 弱（同じく2号井）低下しており，また聯合紙器K. K. では年3mの割合で低下しているという。

地域全体についての圧力面の等高線は，収水層の不同測点の偏在などのため求め難いが，収集された資料に関する限りでの運転時の水位が深いのは，日本紙業K. K. およびライオン油脂K. K. の37～38 m，ミヨシ油脂K. K. および江戸川化学工業K. K. の34～35 m，第一製薬K. K. 船堀工場の30～32m などである。そしてこのほかは20～30の間にあるものが多い。

こうした被圧面地下水の圧力面の低下に伴なつて生じてくると考えられるものに，地盤沈下の現象がある。現在のところ全体としてまだ江東・都北地域ほど著しくはない。しかし葛飾区の中川右岸，亀有町（三共K. K.）—青戸町（東洋インキ製造 K. K.）—本田梅田町（旭染色工業有限会社）—本田立石町（浜野繊維工業K. K.）の一帯には沈下現象が明らかに認められる。すなわち三共K. K. の1・2号井にはともに20cm 以上の井戸側管の抜け上がりがあり，また浜野繊維工業K. K. の1号井，東洋インキ製造K. K. の2号井などのポンプ台枠コンクリート面には著しい亀裂を生じている。前述の砂混り粘土層～粘土混り砂層の厚い分布は，これらの井戸群の被害によく現われている。

したがつてこうした沈下がさらに促進，かつ拡大する可能性は，この地域の地質條件からみれば充分に考えられるわけであり，場合によれば江東地区以上に災害を及ぼすようになることも予想できるわけである。

### 4.5 水質の地域的特徴

調査地域内の工業用水の水質についての測定および分析結果は，第5表にとりまとめた通りである。後に江東・都北地域を含めて比較・検討する関係上，こゝでは詳細にはふれない。

しかし一般には $SiO_2$，$HCO_3^-$ が多く，$SO_4^{2-}$，$Fe^{2+}$ は少ないが，$Cl^-$ がある程度不規則な分布を示している。全体としてみると，深度120m 前後までは鉄バクテリヤなどが検出され，またしばしば着色しているが，120～150 m 前後の比較的有力な帯水層を突破して深部に至ると水質は好転する傾向がある。

これらの工場以外に実測した埼玉県側の染色工場群，あるいは調査地域内全体にわたる非工業用井戸などの水温・水比抵抗値をとりまとめると，調査地域の北部（埼玉県境附近）では 70 m 深度で 15° C / 2,700Ω-cm（以下Ω-cm を省略），140m 深度で 16～17° C/3,500～4,500，中央部中川沿岸地帯で深度 150 m までの井戸が 17～18° C/ 2,000～3,000台，200m までの井戸が 19～20° C/ 3,000～4,000台，300mまでの井戸が21～22° C/7,000～8,000，臨海部に近づいて深度 70～80mまでの井戸が 16

| 用途 | 井戸規模 | | | | 揚水施設 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 番号 | 孔径 (吋) | 深度 (m) | 井戸ストレーナーの位置 (m) | 種類 | 吐出口径 (吋) | 馬力 (HP) |
| c, b, w | 1 | 8 | 73 | — | AL | — | 15 |
| | 2 | 5 | 182 | — | AL | — | 50 |
| c, b, w | 1 | 6 | — | | AL | 6 | 50 |
| ca | 2 | 14 | 165 | 127～130, 155～158 | BH | 7 | 25 |
| | 3 | 14 | 152 | — | BH | 5 | 20 |
| | 4 | 14 | 152 | — | BH | 6 | 20 |
| | 5 | 14 | 167 | 68～86, 98～107, 127～133, 152～158 | BH | 7 | 50 |
| c, m | 1 | 3 | 54 | — | AL | 3 | 5 |
| b その他 | 1 | 12 | 85? | — | SB | 5 | 25 |

～17° C/1,000 前後，150m までの井戸が19 C/2,500 前後となつている。いずれにせよ，深層部ほど水比抵抗が高く，特に 200m 以深の部分では著しく高くなつているという事実が指摘できる。

### 4.6 水比抵抗から推定される地下水理

水比抵抗の測点約 140 を図上にプロットすると，調査面積の広い割合に適当な測点が少ないうえ，測定値そのものが 1,000 Ω-cm から 8,000 Ω-cm までの種々の値を示すので，一見収拾がつかないようにみえる。しかし水質・収水深度を考慮して配列すると，概略の傾向は推知できる。その一部については前節に述べたが，次に地区別にふれてみる。

1. 江戸川の右岸大場川流域では，通称 40 間層（概略 70 m の深度に位置する帯水層）が，かつて自噴性掘抜井戸として利用されていた。しかしこれが十数年来自噴停止し，湧出量が減少し，現在ではほとんどがかろうじて底噴井として家庭用に利用されている。これら掘抜井戸群の水比抵抗は，一般に不規則で 3,500～6,500 Ω-cm の間にある。

2. 埼玉県草加町東方から立野堀一帯にかけて所在する染色工場群では，40 間層（水温 15° C 台）が 2,000Ω-cm 台，80間層（水温 16～17° C）が 3,000～4,000 Ω-cm で，80間層の方は南西方，東京都足立区にまで拡がつている。これと都北地区の 7,000 Ω-cm 台の部分との関係は今後調査の必要がある。

3. 埼玉県鳩ケ谷町附近には通称 18 間層あるいは 24 間層があり，いずれも 7,000 Ω-cm 前後の地下水を蔵している。

4. 古利根川―中川沿岸の一帯では，浅い自由面地下水は 1,000 Ω-cm 前後の種々の値を示すが，深度 150m 前後までの収水井で 2,000 Ω-cm 台，250 m 前後までの収水井で 6,000～7,000 Ω-cm 台の水比抵抗が測定され，浅層部が低く，深層部が高い関係を明瞭に示している。

5. 中川の下流，荒川放水路との接触点附近東側では深度 100m までの収水井で 5,000 Ω-cm 台（水温17～18° C），200～250m までの収水井で 6,000 Ω-cm（水温 20° C）となつているが，ここから海岸寄りでは深度 100 m までの収水井で 2,000 Ω-cm （水温 16～17° C）以下となる。

6. 市川市側では深度 50～150 m 間の収水井で 5,000～7,000 Ω-cm（水温16～17° C）の水を得ているが，水温 18～19° C の水はこれよりむしろ低い水比抵抗を示している。

以上のような関係から，少なくも荒川放水路と江戸川とのほゞ中間，古利根川―中川沿いの深層部に水比抵抗の高い地下水が分布し，これが葛飾区から江戸川区にかけての一帯に相当量の地下水を供給していることが推定できる。これについてはなお上流側の精査を必要とするが，利根川水系に関係のある地下水の透水帯である可能性がある。これに対し市川市の地下水は東方から供給される系統のものが主になつているように推定される。

## 5. 都北地区工場用水源補足調査

先に報告した都北地区工場用水調査の補足分として，昭和32年6月，13工場の調査を行つた。その用水源の状況は第3表に示した通りである。これにより地下水 22,560m³/日が都北地区の利用量として先の報告分に追加される。一般に揚水量に対する水頭降下の割合は小さく，新河岸川沿いの低地部では，タービンの揚水限界を上下しているくらいのところも散見し，深くてもその揚水水頭はせいぜい 15～20m 程度に止まつている。しか

第3表　板橋および北区補足調査対象

| 番号 | 工場名 | 所在地 | 水源別取得量（$m^3$/日） 総量 | 上水道 | 地下水 | 循環水 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 和光純薬K.K. 東京 | 板橋区新河岸町 | 300 | — | 300 | — |
| 2 | 第一プラスチックスK.K. 板橋 | 〃 | 230 | — | 230 | — |
| 3 | 高砂鉄工K.K. 志村 | 〃 志村西台町 | 860 | — | 860 | — |
| 4 | 日本金属K.K. 板橋 | 〃 | 1,800 | — | 1,800 | — |
| 5 | 大亜鋼業K.K. | 〃 船渡町 | 160 | — | 160 | — |
| 6 | 大鹿振興K.K. | 〃 船渡町 | 100 | — | 60 | 40 |
| 7 | 有機合成工業K.K. | | 150 | — | 150 | — |
| 8 | 科研薬化工業K.K. 板橋 | 〃 志村蓮根 | 400 | — | 400 | — |
| 9 | 理研化学K.K. | 〃 長後2 | 1,000 | — | 1,000 | — |
| 10 | 山の内製薬K.K. 小豆沢 | 〃 小豆沢町 | 1,800 | — | 1,800 | — |
| 11 | 雪印乳業K.K. 東京 | 北区袋町 | 10,000 | — | 10,000 | — |
| 12 | キリンビールK.K. | 〃 船堀町 | 3,000 | 20 | 3,000 | — |
| 13 | 国鉄東鉄管理局 | 〃 田端新町 | | | | |
| | 川端機関車 | | 1,000 | — | 1,000 | — |
| | 尾久 〃 | | | | | |
| | 尾久客車区 | | 1,800 | — | 1,800 | — |

註 1) 工場番号は工場および井戸分布図参照
2) 用途欄中，c：冷却用，w：洗滌用，b：汽罐用，m：原料用の略
3) ポンプ種類中，BH：ボアホール，SB：水中モーター，PT：ピストンの略

しなお水頭の低下は年々大きくなつており，井戸側管の抜け上がりから推定される地盤沈下は，新河岸川沿いで年間 5～10cm に達しているところがある（有機合成化学工業 K.K. 2年間に 15cm；科研薬化工業 K.K. 1年間に 10cm などの例が挙げられる）。

水質分析結果は第4表中に一括して示してある

### 6. 水試料分析結果の総合的検討

地質調査所月報第8巻第10号に示した江東・都北地域85の水試料分析後，$K^+$ および $Na^+$ の分析を行い，さらに $HCO_3^-$ および $SO_4^{2-}$ の分析結果の一部に修正を要する点を発見したので，これらを補い，かつ地理的に各試料を配列し直して，とりまとめたものが第4表である。

したがつて第4表および第5表により，荒川および江川下流地域 129 カ所の全体の水分析結果が示されていることになる。なおその採水点は第4図にプロットされている。

東京都江東区以下8区に分布するこれらの水試料分結果に，まず化学的観点からの検討を加え，次いで地水理調査の一環として総合的に取り扱つた結果，おお次のような関係があることが指摘されるに至つた。

以下順を追つて記載することにしたい。

#### 水温について

調査地域全般にわたつて，地下水の水温は 16～20° を示すものが大部分を占める。第5図に示す通り，同収水深度あるいは近似した収水深度にあつてなお 3°

工場水源の現況（昭和32年6月現在）

| 主用途 | 井戸規模 | | | | 揚水施設 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 番号 | 孔径(吋) | 深度(m) | ストレーナーの位置 (m) | 種類 | ポンプ孔径(吋) | 馬力(HP) |
| b. w | 1 | 8 | 47 | — | BH | 6 | 15 |
| | 2 | 8 | 50 | — | BH | 5 | 15 |
| b | 1 | 8 | 134 | 37～44, 76～82, 120～127 | BH | 4 | 16 |
| w | 1 | 6 | 60 | — | SB | 5.3 | 6 |
| | 2 | 12<br>10 | 60 | — | SB | 8 | 20 |
| b | 1 | 12 | 60 | — | SB | 5 | 25 |
| | (予備) | 8 | 60 | — | BH | 4 | 10 |
| b | 1 | 5<br>4 | 30 | — | PT | 2.5 | 7.5 |
| | 2 | 5<br>4 | 59 | 45～49, 56～59 | PT | 2 | 3 |
| , c, b | | 8<br>6 | 25 | — | BH | 3 | 10 |
| b | | 8 | 75 | — | BH | 6 | 7.5 |
| , b. c | 1 | 8 | 84 | — | BH | 3 | 7.5 |
| | 2 | 8 | 90 | — | BH | 3 | 10 |
| , c, b | 1 | 12 | 153 | 124～130, 143～147 | BH | 6 | 30 |
| | 2 | 8 | 105 | — | BH | 4 | 7.5 |
| , b | 1 | 12 | 120 | — | BH | 4 | 25 |
| | 2 | 12 | 220 | — | SB | 6 | 45 |
| , c | 1 | | | — | BH | 8 | 30 |
| | 2 | | | — | BH | 8 | 85 |
| | 3 | | 212 | 77～86, 165～198 | BH | 8 | 85 |
| , w, b | 1 | 12 | 67 | — | BH | 5 | (40) |
| | 2 | 14 | 199 | 106～113, 165～190 | SB | 5 | 35 |
| | 3 | 14 | 199 | 126～152, 166～171, 175～198 | SB | 5 | 35 |
| | 4 | 14 | 105 | — | SB | 5 | 40 |
| , b | | 10 | 190 | 45～46, 89～96, 112～125, 136～148 | BH | 5 | 40 |
| | | 12 | 130 | 15～23, 65～77, 83～85, 113～118 | BH | 5 | 40 |
| | | 12 | 190 | — | BH | 5 | 40 |

後の幅をもつではいるが，一般には浅層部から深層部向かうにつれて漸次高くなつている。また内陸側から海部に向かうに伴なつて，全体として高くなつている。都北地区板橋区および北区の一部には，15°C 台の低い水温を示す部分がある。

**pH および RpH について**

特に地理的な変化は認められない。一般的に浅層部に較して深層部の方がアルカリ性が強い。第6表に同一場内の深度の異なる深井戸群について RpH を比較し結果を示した。

**荒川～荒川放水路右岸（都心寄り）の地域**（測点 No. 1～No. 89. 第4表参照）

（1） Free $CO_2$. 一般に RpH と pH の差の大きなものほど，Free $CO_2$ が多い また深度別には浅層部の地下水中にその含有量が大きい。

（2） Dis. $O_2$. 全体として小さい値で，測点全体の約30%が，1cc/$l$ 以下を示している。地理的，垂直的変化は顕著にみいだされない。

（3） $HCO_3^-$, 都北地区から江東地区にかけて，ほゞ測点番号順に増加する傾向がみられる。第6図によると水質が carbonate hardness すなわち $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$ の重炭酸塩が溶存成分中の50%以上を占める化学的組成を示す部分は，No. 1～No. 50 の測点群の分布する板橋・北および荒川3区の全体と，足立・墨田両区の一部とにかけての範囲である。墨田区の大部分では重炭酸の増加とともに $K^+$, $Na^+$ の増加が認められ，その化学的組成も

第 4 表　東 京 都 江 東・都 北 地 区

| No. | 試 料 採 取 場 所 | 井戸深度 (m) | ストレーナー | Tw (°C) | pH | RpH | dis. $O_2$ (cc/l) | fre C (p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 和光純薬工業K. K. 東京工場 2 号井 | 55 | — | 15.3 | 7.2 | 7.4 | 2.65 | |
| 2 | 第一プラスチックスK. K. 板橋工場 | 136 | — | 16.6 | 7.9 | 7.9 | — | |
| 3 | 日本金属K. K. 板橋工場 1 号井 | 91 | 51.5～54.5, 68～74 79～86.52 | 16.3 | 7.6 | 7.7 | — | |
| 4 | 日本特殊鋼管K. K. 本社工場 1 号井 | 76 | 28～39.5, 61.0～76.0 | 16.0 | 7.5 | 7.7 | 0.82 | |
| 5 | 山之内製薬K. K. 蓮根工場古井戸 | | — | 16.0 | 7.4 | 7.5 | 5.57 | |
| 6 | 〃 深井戸 | — | — | | 8.0 | 8.0 | — | |
| 7 | 大日本インキ製造K. K. 東京工場2号井 | — | — | 15.4 | 7.3 | 7.5 | 6.54 | |
| 8 | 〃 〃 3号井 | — | — | 16.6 | 7.4 | 7.6 | 2.23 | |
| 9 | 第一ガラスK. K. | | — | 16.2 | 7.4 | 7.6 | 3.77 | |
| 10 | 理研化学K. K. 1 号井 | 155 | 126～132, 144～149 | 17.0 | 7.9 | 7.9 | — | |
| 11 | 志村化工K. K. 4 号井 | 182 | | 16.2 | 7.9 | 7.9 | — | |
| 12 | 〃 2 号井 | 75.7 | 27.2～35.8, 41.8～47, 62～72 | 15.8 | 7.3 | 7.5 | 3.81 | |
| 13 | 大日本セルロイドK. K. 東京工場2号井 | 182 | — | 18.0 | 7.8 | 8.0 | 0.53 | |
| 14 | 〃 〃 3号井 | 91 | — | 15.2 | 7.2 | 7.4 | 5.52 | |
| 15 | オリエンタル酵母工業K. K. 東京工場 4 号井 | 100 | 39.4～84.8, 54～59.4, 67.5～70.5, 88～91.5 | 15.3 | 7.0 | 7.5 | 3.28 | |
| 16 | 凸版印刷K. K. 板橋工場 3 号井 | 145 | — | 17.0 | 8.0 | 8.0 | 3.02 | |
| 17 | 〃 1 号井 | 85 | — | 16.3 | 7.0 | 7.6 | 5.12 | |
| 18 | 山之内製薬K. K. 小豆沢工場新井戸 | 222 | 162～176, 190～213 | 18.4 | 7.9 | 7.9 | — | |
| 19 | 日本製紙K. K. 1 号井 | 255 | 195～220, 235～250 | 19.0 | 7.9 | 7.9 | 0.73 | |
| 20 | 〃 2 号井 | 182 | 45～50, 65～75, 165～180 | 16.5 | 7.6 | 7.7 | 3.20 | |
| 21 | 〃 7 号井 | — | — | 19.7 | 8.3 | 8.3 | 0.90 | |
| 22 | 日本化薬K. K. 王子染料工場 1 号井 | 110 | 61.0～66.5, 72～74, 101～110 | 16.9 | 7.5 | 7.8 | 0.51 | |
| 23 | 〃 2 号井 | 105 | 61～62, 66～67.5, 74～77.5, 100～101, 103～105 | 16.4 | 7.6 | 7.8 | 0.45 | |
| 24 | 〃 (第 2 工場) 1 号井 | 105 | | 16.5 | 7.6 | 7.8 | 0.39 | |
| 25 | 東京セロファン紙K. K. 東京工場 1 号井 | 200 | | 19.2 | 8.1 | 8.1 | 0.67 | |
| 26 | 〃 2 号井 | 91 | | 17.9 | 7.7 | 7.8 | 0.61 | |
| 27 | 日本フエルトK. K. 王子工場 2 号井 | 200 | 124～131, 176～188, 189～197 | 19.5 | 8.3 | 8.3 | 0.83 | |
| 28 | 〃 3 号井 | 200 | 186～194, 196～201, | | 8.2 | 8.2 | 0.25 | |
| 29 | 日本加工製紙K. K. | 185 | 150～173 | 19.0 | 8.2 | 8.2 | 0.14 | |
| 30 | 十條製紙K. K. 十條工場 1 号井 | 212 | — | | 8.2 | 8.2 | 0.50 | |
| 31 | 保土ケ谷化学工業K. K. 東京工場 1 号井 | 212 | — | 19.7 | 8.1 | 8.1 | 1.00 | |
| 32 | 〃 〃 2 号井 | 151 | 24.2～33, 36～38, 635～71, 98.5～105, 114～124 | | 7.8 | 7.9 | 1.74 | |
| 33 | 日産化学工業K. K. 王子工場硫酸 1 号井 | 182 | 72～80, 98～110, 117～134, 152～155, 168～171 | | 7.9 | 7.9 | 3.16 | |
| 34 | 〃 電解井戸 | 150 | 27～31, 44～51.5, 76～82, 81.2～87.5, 131～135 | 17.8 | 6.9 | 7.3 | 0.57 | |
| 35 | 第一工業製薬K. K. 東京工場 2 号井 | 182 | — | — | 7.8 | 7.8 | 1.01 | |

工業用深井戸水質一覧表

| $CO_3^{--}$ (ppm) | $Cl^-$ (ppm) | $NO_2^-$ (ppm) | $SO_4^{2-}$ (ppm) | $NH_4^+$ (ppm) | $Na^+$ (ppm) | $K^+$ (ppm) | $Fe^{2+}$ (ppm) | $Fe^{3+}$ (ppm) | $Ca^{2+}$ (ppm) | $Mg^{2+}$ (ppm) | 全硬度 (°dH) | total $SiO_2$ (ppm) | $KMnO_4$ cons. (mg/l) | P (ppm) | $\rho_w$ (Ω-cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 79.9 | 24.9 | tr. | 0. | 0.0 | 14.2 | 3.8 | 0.00 | 0.01 | 17.9 | 7.0 | 4.13 | 9.6 | 2.1 | 0.08 | 6,000 |
| 75.0 | 4.3 | 0.00 | 0. | 0.1 | 8.4 | 2.5 | 0.00 | 0.10 | 13.5 | 2.9 | 2.57 | 20.8 | 11.8 | 0.06 | 9,800 |
| 91.5 | 7.1 | tr. | 0. | 0.2 | 17.7 | 3.4 | 0.00 | 0.03 | 10.9 | 4.5 | 2.58 | 15.2 | 9.9 | 0.15 | 8,000 |
| 98.5 | 7.7 | tr. | 3. | 0.0 | 17.0 | 4.3 | 0.00 | 0.05 | 10.0 | 4.0 | 2.32 | 24.8 | 3.2 | 0.15 | 7,600 |
| 57.1 | 13.1 | 0.00 | 1. | 0.2 | 6.9 | 2.6 | 0.02 | 0.04 | 13.2 | 4.9 | 2.97 | 34.8 | 3.4 | 0.07 | — |
| 91.5 | 4.3 | 0.00 | 1. | 0.6 | 7.8 | 3.1 | 0.00 | 0.05 | 16.8 | 2.9 | 3.02 | 27.6 | 3.9 | 0.07 | — |
| 73.2 | 9.2 | 0.00 | 1. | 0.3 | 7.9 | 2.1 | 0.00 | 0.05 | 13.8 | 5.1 | 3.12 | 26.8 | 7.2 | 0.07 | 9,700 |
| 76.3 | 8.2 | 0.01 | 1. | 0.3 | 10.2 | 2.3 | tr. | 0.01 | 14.8 | 4.6 | 3.14 | 31.2 | 1.4 | 0.10 | 9,800 |
| 84.2 | 12.8 | 0.00 | 1. | 0.2 | 9.9 | 3.0 | 0.08 | 0.08 | 17.8 | 5.3 | 3.71 | 35.2 | 3.3 | 0.08 | — |
| 99.4 | 2.6 | 0.00 | 0. | 0.3 | 11.8 | 4.1 | 0.00 | 0.06 | 16.3 | 3.0 | 2.99 | 37.2 | 13.5 | 0.09 | 4,500 |
| 82.3 | 4.0 | 0.00 | 2. | tr. | 8.8 | 2.7 | 0.04 | 0.09 | 15.4 | 3.0 | 2.84 | 26.8 | 0.6 | 0.08 | — |
| 89.5 | 17.8 | 0.01 | 3. | tr. | 8.6 | 2.9 | 0.00 | 0.04 | 16.5 | 5.3 | 3.51 | 36.8 | 2.5 | 0.05 | 8,500 |
| 91.5 | 3.3 | 0.02 | 5. | 0.0 | 8.4 | 2.6 | tr. | 0.04 | 20.2 | 2.8 | 3.46 | 26.8 | 9.2 | 0.06 | 5,900 |
| 89.5 | 29.5 | 0.01 | 4. | 0.0 | 8.8 | 2.6 | 0.00 | 0.02 | 24.6 | 7.7 | 5.20 | 42.4 | 1.9 | 0.06 | 5,400 |
| 82.6 | 40.2 | 0.24 | 18. | 0.0 | 10.4 | 3.5 | 0.00 | 0.02 | 34.2 | 11.5 | 7.46 | 36.8 | 5.1 | 0.06 | 3,900 |
| 84.0 | 7.2 | 0.02 | 3. | 0.0 | 9.9 | 3.3 | 0.00 | 0.03 | 17.7 | 2.4 | 3.01 | 36.0 | 5.1 | 0.10 | 8,500 |
| 94.6 | 39.7 | 0.00 | 8. | 0.0 | 10.2 | 2.3 | 0.00 | 0.02 | 35.7 | 13.4 | 8.06 | 38.0 | 2.2 | 0.05 | 4,700 |
| 75.0 | 1.7 | 0.00 | 3. | 1.5 | 8.4 | 2.2 | 0.04 | 0.02 | 15.8 | 2.1 | 2.69 | 30.4 | 33.4 | 0.06 | 9,900 |
| 84.0 | 1.6 | 0.07 | 3. | tr. | 8.1 | 2.5 | 0.00 | 0.01 | 17.2 | 2.0 | 2.87 | 32.4 | 3.5 | 0.10 | 8,800 |
| 77.8 | 7.2 | tr. | 3. | 0.1 | 9.1 | 2.8 | 0.00 | 0.03 | 15.2 | 4.2 | 3.08 | 23.6 | 12.0 | 0.06 | 9,500 |
| 81.1 | 1.8 | 0.00 | 4. | 0.4 | 7.2 | 2.2 | 0.00 | 0.05 | 16.7 | 3.0 | | 30.8 | 2.4 | 0.00 | — |
| 90.6 | 6.3 | 0.18 | 0. | tr. | 11.3 | 3.0 | 0.02 | 0.02 | 16.4 | 4.3 | 3.28 | 33.6 | 1.9 | 0.09 | 6,600 |
| 92.7 | 6.6 | 0.13 | 1. | 0.0 | 12.2 | 3.8 | 0.08 | 0.12 | 18.2 | 5.8 | 3.89 | 25.6 | 2.5 | 0.09 | 8,200 |
| 89.5 | 6.1 | 0.00 | 1. | 0.2 | 17.0 | 3.6 | 0.29 | 0.04 | 21.6 | 7.6 | 4.78 | 39.6 | 1.9 | 0.09 | — |
| 84.0 | 1.7 | 0.03 | 3. | 0.3 | 8.9 | 2.5 | tr. | 0.05 | 16.4 | 1.9 | 2.72 | 45.6 | 2.8 | 0.06 | — |
| 96.1 | 8.5 | 0.40 | 15. | 0.0 | 11.0 | 3.5 | 0.11 | 0.05 | 20.5 | 3.7 | 3.71 | 37.6 | 2.8 | 0.15 | — |
| 85.5 | 2.1 | 0.13 | 1. | 0.2 | 9.4 | 2.4 | 0.00 | tr. | 16.0 | 2.8 | 2.88 | 31.2 | 7.6 | 0.07 | 9,000 |
| 84.0 | 1.7 | 0.07 | 3. | 0.0 | 9.2 | 2.5 | 0.02 | 0.10 | 16.4 | 2.7 | 2.92 | 30.4 | 4.6 | 0.06 | — |
| 87.0 | 3.3 | 0.10 | 10. | 0.2 | 8.6 | 4.6 | tr. | 0.04 | 20.0 | 2.9 | 3.43 | 30.4 | 3.8 | 0.06 | — |
| 85.5 | 2.2 | 0.03 | 4. | 0.3 | 8.7 | 2.5 | tr. | 0.01 | 15.8 | 2.9 | 2.98 | 24.4 | 1.6 | 0.05 | — |
| 96.7 | 1.7 | tr. | 1. | 0.5 | 11.9 | 2.5 | 0.00 | 0.01 | 15.7 | 2.9 | 2.87 | 31.6 | 3.2 | 0.05 | 8,700 |
| 98.4 | 6.6 | tr. | 10. | 0.5 | 11.0 | 3.5 | 0.05 | 0.05 | 23.0 | 4.3 | 4.22 | 42.0 | 7.6 | 0.08 | 6,700 |
| 85.4 | 2.4 | 0.01 | 8. | 0.3 | 9.5 | 3.1 | 0.00 | 0.05 | 16.8 | 2.7 | 2.98 | 41.6 | 8.5 | 0.08 | 8,600 |
| 121.0 | 22.6 | 0.20 | 102.8 | 0.3 | 22.4 | 3.1 | 2.24 | 0.00 | 47.0 | 17.6 | 9.71 | 42.0 | 6.6 | 0.03 | 3,200 |
| 85.5 | 1.7 | 0.19 | 3. | 0.1 | 9.1 | 2.9 | 0.00 | tr. | 16.2 | 2.1 | 2.76 | 30.8 | 4.1 | 0.08 | 8,900 |

| No. | 試料採取場所 | 井戸深度およびストレーナー (m) | | Tw (°C) | pH | RpH | dis. $O_2$ (cc/l) | fre C (pp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 36 | 日本油脂K. K. 王子工場 1号井 | 180 | 108～130, 171～175 | 19.0 | 8.1 | 8.1 | 0.19 | 0 |
| 37 | 〃 2号井 | 72.5 | 22.7～29.1, 40～45.5, 67.5～72.1 | 17.0 | 7.2 | 7.8 | 0.49 | 4 |
| 38 | 印刷庁王子工場 3号井 | 197 | — | 18.2 | 8.1 | 8.1 | 3.36 | 0 |
| 39 | 宝酒造K. K. 王子工場 1号井 | 182 | 108～102, 117～123, 134～146, 151～156, 162～174 | 18.7 | 8.0 | 8.0 | 0.95 | 0 |
| 40 | 〃 3号井 | 105 | 61～66, 77～83, 101～106 | 17.0 | 7.8 | 7.8 | 0.66 | 0 |
| 41 | 田端機関区 井戸 | 193 | 45～46, 89～96, 112～126, 136～147, 178～185 | 18.6 | 8.0 | 8.0 | | 0 |
| 42 | 旭電化工業K. K. 1号井 | 85 | 27～47.1, 61～63, 75.9～85.0 | 16.6 | 7.8 | 7.8 | 0.73 | 0 |
| 43 | 〃 2号井 | 152 | 81.2～124, 139～145 | 17.9 | 8.0 | 8.0 | 0.69 | 0 |
| 44 | 〃 3号井 | 212 | 193～208 | 20.1 | 8.3 | 8.3 | 0.72 | 0 |
| 45 | 〃 4号井 | 303 | 190～215, 280～288 | 20.1 | 8.4 | 8.4 | 0.21 | 0 |
| 46 | 東京電力K. K. 隅田火発 1号井 | 146.3 | — | 19.0 | 8.1 | 8.1 | — | 0 |
| 47 | 東京火力発電所 千住 | 151 | — | 18.6 | 7.7 | 7.8 | 0.77 | 0 |
| 48 | 日本皮革K. K. 2号井 | 193 | 37.5～61, 82～87, 110～121, 161～168, 190～193 | 18.0 | 7.6 | 7.8 | 2.50 | 0 |
| 49 | 〃 5号井 | 97 | 41.8～46.5, 57～60.5, 83～92 | 17.3 | 7.7 | 7.8 | 1.39 | 1 |
| 50 | 高崎製紙千住工場 1号井 | 105 | 65～68, 87～90 | 17.2 | 7.8 | 7.9 | 0.66 | 0 |
| 51 | 〃 浅井戸 | | — | 18.8 | 6.2 | 6.6 | 0.66 | 104 |
| 52 | 日新工業K. K. 本社工場分工場 | 107 | — | 17.6 | 7.6 | 7.7 | 2.96 | 1 |
| 53 | 鐘淵紡績K. K. 南千住工場 3号井 | 151 | 75～83, 110～114, 125～130, 146～148 | 18.3 | 7.9 | 7.9 | 1.53 | 0 |
| 54 | 〃 1号井 | 146 | 74～78, 108～110 120～136 | | 8.0 | 8.0 | 5.37 | 0 |
| 55 | 大日本紡績K. K. 東京工場 1号井 | 151 | — | 17.9 | 8.0 | 8.0 | 2.36 | 0 |
| 56 | 〃 3号井 | 126 | 43～48.4, 56.7～61.8, 73～85, 100～107 | 18.7 | 7.9 | 7.9 | 1.14 | 0 |
| 57 | 鐘淵紡績K. K. 東京工場 5号井 | 115 | 38.1～44, 72～76, 91～97, 100～106 | 17.4 | 7.4 | 7.8 | 0.43 | 5 |
| 58 | 〃 2号井 | | — | 19.5 | 7.8 | 7.8 | 0.35 | 0 |
| 59 | 東京ガスK. K. 千住工場 3号井 | 95 | — | 18.7 | 7.9 | 7.9 | 1.29 | 0 |
| 60 | 明治製菓K. K. | 164 | 94～103, 131～135, 152～158 | 20.3 | 7.9 | 7.9 | 0.83 | 4 |
| 61 | ライオン油脂K. K. 平井工場 3号井 | 91 | 56～63, 79～84 | 18.5 | 7.7 | 7.9 | 0.26 | 3 |
| 62 | 〃 1号井 | 182 | — | 20.5 | 7.7 | 7.8 | 4.33 | 0 |
| 63 | 花王石鹸K. K. 東京工場 1号井 | 119 | — | 18.3 | 7.3 | 7.5 | 0.29 | 1 |
| 64 | 〃 3号井 | 156 | — | 20.3 | 8.0 | 8.0 | 0.58 | 1 |
| 65 | 東洋紡績K. K. 向島染色工場5号井 | 127 | 64～70, 81～87, 97～104, 109～123 | 19.5 | 8.0 | 8.0 | 2.08 | 1 |
| 66 | 〃 4号井 | | — | 19.5 | 7.9 | 8.0 | 0.58 | 1 |
| 67 | 第一製薬K. K. 柳島工場 12″井戸 | 139 | 76～82, 102～114 | | 7.8 | 7.8 | 1.94 | 1 |
| 68 | 〃 8″井戸 | 158 | 77～83, 103～112, 146～151 | 19.7 | 7.8 | 7.8 | 1.66 | |
| 69 | K. K. 青木染工工場 1号井 | 110 | 91～98 | 18.8 | 7.6 | 7.8 | 3.59 | |

| $HCO_3^-$ (ppm) | $Cl^-$ (ppm) | $NO_2^-$ (ppm) | $SO_4^{2-}$ (ppm) | $NH_4^+$ (ppm) | $Na^+$ (ppm) | $K^+$ (ppm) | $Fe^{2+}$ (ppm) | $Fe^{3+}$ (ppm) | $Ca^{2+}$ (ppm) | $Mg^{2+}$ (ppm) | 全硬度 (°dH) | total $SiO_2$ (ppm) | $KMnO_4$ cons. (mg/l) | P (ppm) | $\rho_w$ (Ω-cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 87.0 | 3.0 | tr. | 5. | 0.5 | 10.4 | 2.6 | 0.09 | 0.15 | 16.4 | 3.1 | 3.00 | 60.8 | 1.6 | 0.08 | — |
| 67.5 | 1.7 | tr. | 27.8 | 0.1 | 20.6 | 3.8 | 0.03 | 0.03 | 31.0 | 15.1 | 7.85 | 52.8 | 7.6 | 0.13 | 3,400 |
| 90.0 | 2.4 | 0.25 | 3. | 0.1 | 9.5 | 2.4 | tr. | 0.01 | 16.8 | 2.7 | 2.97 | 34.4 | 4.7 | 0.08 | 9,500 |
| 91.6 | 2.9 | 0.04 | 3. | 0.2 | 10.0 | 2.9 | tr. | 0.05 | 16.7 | 2.8 | 2.99 | 30.8 | 12.6 | 0.06 | 8,400 |
| 18.8 | 7.7 | 0.20 | 8. | 0.2 | 11.9 | 3.8 | 0.00 | tr. | 26.0 | 4.4 | 4.65 | 25.2 | 3.0 | 0.08 | — |
| 91.5 | 1.4 | 0.00 | 0. | 0.0 | 15.8 | 2.6 | 0.01 | 0.01 | 12.9 | 2.7 | 2.43 | 32.4 | 7.1 | 0.07 | 8,600 |
| 33.5 | 18.8 | 0.02 | 48.0 | 0.2 | 118.4 | 4.3 | tr. | 0.03 | 2.4 | 1.2 | 0.61 | 45.6 | 11.1 | 0.20 | 2,700 |
| 02.0 | 5.4 | 0.05 | 12. | 0.3 | 14.0 | 3.2 | tr. | 0.03 | 21.2 | 3.5 | 3.76 | 44.4 | 2.5 | 0.08 | 6,400 |
| 08.0 | 1.8 | 0.00 | 2. | 0.0 | 15.9 | 2.8 | 0.00 | 0.02 | 16.5 | 2.9 | 2.99 | 31.6 | 5.1 | 0.05 | 8,000 |
| 22.0 | 2.6 | 0.13 | 2. | 0.8 | 26.0 | 3.3 | 0.01 | 0.00 | 13.2 | 2.2 | 2.36 | 39.2 | 12.0 | 0.06 | 4,800 |
| 87.0 | 1.9 | 0.00 | 3. | 0.0 | 11.3 | 2.7 | 0.00 | 0.02 | 15.5 | 2.6 | 2.62 | 52.0 | 5.4 | 0.10 | — |
| 04.3 | 2.3 | 1.00 | 0. | 0.0 | 12.8 | 2.6 | tr. | 0.03 | 14.6 | 2.5 | 2.63 | 40.4 | 4.5 | 0.17 | 8,400 |
| 40.3 | 17.7 | tr. | 0. | 0.1 | 25.0 | 4.5 | tr. | 0.18 | 19.0 | 5.5 | 3.92 | 55.6 | 8.2 | 0.11 | 5,400 |
| 36.6 | 18.8 | 0.02 | 0. | 0.1 | 24.8 | 4.4 | 0.12 | 0.17 | 19.2 | 5.7 | 4.00 | 55.6 | 9.5 | 0.11 | 5,300 |
| 206.2 | 20.0 | 0.05 | 2. | 1.1 | 40.0 | 7.3 | 0.08 | 0.03 | 22.7 | 8.5 | 5.14 | 40.0 | 14.0 | 0.13 | 4,700 |
| 73.2 | 39.7 | 0.00 | 496.3 | 0.9 | 71.2 | 20.0 | 30.16 | | 123.9 | 26.3 | 23.41 | 43.2 | 15.9 | tr. | 2,100 |
| 66.5 | 21.3 | 多量 | 0. | 0.5 | 43.1 | 6.9 | 0.02 | 0.24 | 10.4 | 5.3 | 2.67 | 44.4 | 11.6 | 0.38 | 5,400 |
| 23.8 | 12.1 | 0.12 | 0. | 0.6 | 30.0 | 6.6 | 0.00 | 0.03 | 13.0 | 5.4 | 3.08 | 55.6 | 4.7 | 0.18 | 5,400 |
| 07.4 | 2.3 | 0.09 | 0. | 0.2 | 17.2 | 3.8 | 0.00 | 0.04 | 11.5 | 2.7 | 2.23 | 65.6 | 2.6 | 0.21 | 8,600 |
| 35.4 | 16.7 | 1.20 | 0. | 0.8 | 32.0 | 9.6 | 0.00 | 0.01 | 10.6 | 7.3 | 3.17 | 59.2 | 3.9 | 0.14 | 4,700 |
| 58.0 | 13.2 | 0.07 | 0. | 0.2 | 30.0 | 7.3 | 0.00 | 0.05 | 14.7 | 6.2 | 3.49 | 56.4 | 12.0 | 0.12 | 5,000 |
| 241.0 | 36.9 | tr. | 0. | 1.7 | 59.6 | 9.0 | 0.16 | 0.04 | 24.4 | 9.1 | 5.51 | 50.0 | 5.6 | 0.60 | 2,800 |
| 136.3 | 4.3 | 0.30 | 0. | 0.5 | 23.5 | 4.7 | 0.00 | 0.02 | 11.9 | 3.1 | 2.39 | 62.4 | 4.0 | 0.34 | 6,800 |
| 113.5 | 5.0 | 0.85 | 0. | 0.1 | 20.0 | 3.0 | 0.00 | 0.02 | 13.9 | 2.7 | 2.57 | 58.0 | 8.4 | 0.17 | 8,000 |
| 136.6 | 7.1 | 0.08 | 5. | 0.7 | 28.0 | 5.8 | 0.00 | tr. | 10.8 | 3.6 | 2.35 | 74.0 | 7.5 | 0.15 | 6,200 |
| 225.7 | 154.8 | 0.01 | 0. | 2.0 | 94.1 | 20.0 | 0.00 | 0.08 | 50.6 | 15.2 | 10.59 | 50.0 | 9.2 | 0.45 | 1,600 |
| 127.5 | 8.2 | 0.39 | 0. | tr. | 28.0 | 6.5 | 0.00 | tr. | 10.6 | 3.4 | 2.26 | 60.4 | 11.7 | 0.27 | 6,600 |
| 275.1 | 144.8 | 0.00 | tr. | 0.7 | 149.4 | 14.3 | 1.63 | 0.30 | 20.5 | 12.6 | 5.66 | 56.8 | 7.4 | 0.07 | 1,700 |
| 146.4 | 32.7 | tr. | 0. | 1.5 | 41.8 | 8.7 | 0.00 | 0.05 | 8.0 | 5.9 | 2.38 | | 4.4 | 0.09 | 3,900 |
| 138.5 | 14.9 | 0.00 | 0. | 0.7 | 39.4 | 6.7 | 0.03 | 0.03 | 11.1 | 4.1 | 2.49 | 58.4 | 8.4 | 0.11 | 4,500 |
| 183.6 | 51.1 | 多量 | 1. | 0.7 | 44.4 | 8.6 | 0.00 | 0.08 | 26.1 | 8.0 | 5.51 | 62.8 | 13.8 | 0.09 | 3,100 |
| 106.8 | 2.5 | 0.00 | 0. | 0.0 | 23.2 | 5.3 | 0.00 | 0.02 | 5.8 | 3.9 | 1.59 | 58.8 | 1.8 | 0.10 | 8,700 |
| 109.2 | 29.1 | 多量 | 1. | 0.0 | 31.6 | 6.1 | tr. | 0.04 | 15.0 | 4.8 | 3.11 | 59.6 | 10.1 | 0.11 | 4,400 |
| 265.4 | 318.1 | 0.00 | 0.0 | 0.4 | 162.6 | 21.9 | 0.09 | 0.09 | 43.9 | 45.3 | 16.48 | 64.0 | 7.5 | 0.04 | 1,300 |

| No. | 試 料 採 取 場 所 | 井戸深度およびストレーナー (m) | | Tw (°C) | pH | RpH | dis. $O_2$ (cc/l) | freeC (ppm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 70 | 朝日ビールK. K. 業平分工場 旧井戸 | 100 | 82～95 | 18.9 | 7.5 | 7.7 | 0.47 | 10. |
| 71 | 朝日ビールK. K. 吾妻橋工場 3号井 | 30.3 | 9.1～22.7 | 16.7 | 7.3 | 7.5 | 1.51 | 45. |
| 72 | 〃 1号井 | 121 | 44.2～53, 54.5～61, 64.2～73, 75～86 | 16.7 | 7.4 | 7.7 | 2.87 | 11. |
| 73 | 江東冷蔵K. K. 井戸 | 91 | — | 16.7 | 7.7 | 7.9 | 2.49 | 3. |
| 74 | 日本化学工業K. K. 亀戸工場 1号井 | 100 | 57.5～63.5, 87.9～103 | 17.8 | 7.3 | 7.6 | 0.32 | 6. |
| 75 | 〃 4号井 | 150 | — | 17.6 | 7.7 | 7.9 | n.d | 0. |
| 76 | 日東化学工業K. K. 中川工場 2号井 | 105 | 55.5～66.6, 85～100 | 19.5 | 7.6 | 7.7 | 0.71 | 1. |
| 77 | 〃 5号井 | 93 | — | 17.7 | 7.5 | 7.8 | 1.47 | 7. |
| 78 | 三菱鋼材K. K. 本社製作所圧延井戸 | 98 | — | 18.5 | 7.9 | 8.0 | | 0. |
| 79 | 日本化学工業K. K. 小松川第二工場 新設井 | 110 | — | 18.4 | 7.5 | 7.8 | 0.14 | 3. |
| 80 | 日産化学工業K. K. 小松川工場 2号井 | 100 | 64～78.2, 90～95 | 18.0 | 7.7 | 7.9 | 3.92 | 3. |
| 81 | 日本化学工業K. K. 小松川工場 1号井 | 115 | — | 17.5 | 7.8 | 7.9 | 5.61 | 1. |
| 82 | 〃 4号井 | 115 | — | 18.5 | 7.7 | 7.9 | 4.11 | 0. |
| 83 | 東京製鋼K. K. 砂町工場 | 70 | — | 18.5 | 7.5 | 8.0 | | 6. |
| 84 | K. K. 清水井商店井戸 | 45.5 | — | | 7.3 | 7.7 | 1.96 | 15. |
| 85 | 隅田冷凍工業K. K. 井戸 | 91 | 35～41, 42.5～50, 53～61.8, 75.8～79 | 18.7 | 7.4 | 7.7 | 1.76 | 12. |
| 86 | 乳熊味噌福住醸造所井戸 | 42.5 | 40.8～41.0 | 17.5 | 7.5 | 7.7 | 1.16 | 9. |
| 87 | 東都製鋼K. K. 北工場 | 54.5 | — | 17.9 | 8.3 | 8.3 | | 0. |
| 88 | 〃 K. K. 南工場 | 100 | — | 17.7 | 8.5 | 8.5 | | 0. |
| 89 | 藤倉電線K. K. 本社工場井戸 | 137 | — | 18.8 | 7.3 | 7.5 | 2.32 | 11. |

註） 採水および分析，池田喜代治，昭和31年度の分析結果（月報掲載分）のうち$HCO_3^-$，$SO_4^{2-}$ の分析値を修正し，$Na^+$，$K^+$ を追加した。別に昭和32年度行つた補足調査の分をも加え，板橋区→北区→荒川区→足立区→墨田区→江東区の順に配列（第 4 図参照）。

第 5 表　荒川—荒川放水路左岸，および 江戸川

| No. | 試 料 採 取 場 所 | 井戸深度およびストレーナー (m) | | Tw (°C) | pH | RpH | dis. $O_2$ (cc/l) | free CO (ppm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 90 | 日清紡績K. K. 西新井化成 東井戸 | 70 | — | 16.0 | 7.4 | 7.6 | 5.03 | 7. |
| 91 | 〃 南井戸 | 70 | — | 16.9 | 7.8 | 7.9 | 4.48 | 0. |
| 92 | 東京都水道局栗原町ポンプ場 井戸 | 144 | 85～92, 96～105, 113～115 | 16.8 | 7.4 | 7.7 | 0.40 | 1. |
| 93 | 〃 梅田ポンプ場 井戸 | | 93～107, 118～125 | 17.2 | 7.8 | 7.8 | 6.94 | 0. |
| 94 | 〃 本木 〃 | 144 | 48～56, 66～75, 114～125 | 17.3 | 7.6 | 7.7 | 0.62 | 1. |
| 95 | 花畑変電所井戸 | 151 | — | 17.5 | 8.1 | 8.1 | | 0. |
| 96 | 江戸川化学工業東京工場 1号井 | 271 | 54.5～79, 109～126, 163～175, 185～197, 230～245 | 20.6 | 8.2 | 8.2 | 1.43 | 0. |
| 97 | 〃 2号井 | 136 | 51.5～88, 109～124 | 17.3 | 8.1 | 8.1 | 0.15 | 0. |
| 98 | 三共K. K. 亀有工場 2号井 | | — | 18.9 | 7.9 | 8.0 | 0.35 | 0. |
| 99 | 〃 3号井 | 171 | 44～57, 128～134, 149～155, 161～167 | 18.1 | 7.5 | 7.7 | 0.21 | 2. |

| $HCO_3^-$ (ppm) | $Cl^-$ (ppm) | $NO_2^-$ (ppm) | $SO_4^{2-}$ (ppm) | $NH_4^+$ (ppm) | $Na^+$ (ppm) | $K^+$ (ppm) | $Fe^{2+}$ (ppm) | $Fe^{3+}$ (ppm) | $Ca^{2+}$ (ppm) | $Mg^{2+}$ (ppm) | 全硬度 (°dH) | total $SiO_2$ (ppm) | $KMnO_4$ cons. (mg/l) | P (ppm) | $\rho_w$ (Ω-cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 189.7 | 536.1 | 多量 | 60.9 | tr. | 143.4 | 20.5 | 1.00 | 0.15 | 122.4 | 73.5 | 33.03 | 58.0 | 10.6 | 0.00 | 920 |
| 356.9 | 1224.5 | 0.00 | 420.6 | 3.3 | 2090.0 | 113.6 | 7.16 | 8.37 | 225.9 | 268.4 | 93.53 | 56.4 | 9.1 | 0.03 | 150 |
| 152.5 | 1310.0 | 多量 | 146.6 | 0.1 | 579.0 | 37.3 | 1.08 | 0.59 | 127.7 | 72.1 | 34.49 | 54.8 | 22.5 | tr. | 370 |
| 305.0 | 312.4 | tr. | 5.0 | 1.7 | 182.8 | 21.1 | 0.00 | 0.60 | 54.2 | 33.6 | 15.43 | 48.0 | 10.8 | 0.07 | 1,150 |
| 287.3 | 116.4 | 0.00 | 0. | 2.7 | 145.6 | 9.3 | 1.16 | 0.00 | 10.4 | 5.6 | 2.74 | 43.6 | 14.2 | 1.64 | 1,700 |
| 228.8 | 119.3 | 多量 | 0. | 0.1 | 86.1 | 15.4 | 0.03 | 0.08 | 40.9 | 12.3 | 8.46 | 61.6 | 9.9 | 0.13 | 1,750 |
| 130.5 | 102.2 | tr. | tr. | 1.0 | 54.5 | 9.2 | 0.05 | 0.11 | 33.0 | 9.2 | 6.73 | 48.4 | 14.2 | 0.36 | 2,400 |
| 414.8 | 1114.7 | 0.00 | tr. | 3.0 | 609.0 | 36.5 | 3.00 | 2.07 | 103.7 | 54.6 | 27.11 | 48.4 | 16.1 | 0.18 | 400 |
| 305.0 | 2843.6 | 多量 | 18.0 | 3.9 | 1655.0 | 73.3 | 0.00 | 0.59 | 69.2 | 99.8 | 32.61 | 57.2 | 31.6 | tr. | 320 |
| 213.5 | 184.6 | 0.00 | 0. | 0.3 | 154.8 | 14.2 | 0.20 | 0.08 | 23.2 | 10.9 | 5.77 | 47.6 | 10.5 | 0.81 | 1,550 |
| 328.8 | 134.9 | 0.00 | 0. | 1.7 | 144.0 | 15.8 | 0.03 | 0.54 | 26.6 | 10.9 | 6.23 | 48.0 | 16.5 | 1.16 | 1,500 |
| 314.2 | 287.6 | 多量 | 0. | 2.7 | 204.0 | 21.0 | 0.03 | 0.22 | 44.6 | 20.1 | 10.88 | 48.8 | 19.0 | 0.92 | 1,150 |
| 195.2 | 374.9 | 0.01 | 0. | 2.5 | 155.6 | 23.6 | 0.00 | 0.05 | 73.5 | 28.4 | 16.84 | 51.6 | 7.0 | 0.07 | 1,050 |
| 369.1 | 1190.0 | 0.01 | 0. | 1.7 | 637.0 | 36.3 | 0.00 | 0.03 | 116.2 | 61.5 | 20.63 | 40.0 | 29.4 | 0.20 | |
| 317.2 | 295.4 | 0.00 | 0. | 0.4 | 210.0 | 20.8 | 1.75 | 0.63 | 36.2 | 27.9 | 11.49 | 56.8 | 8.5 | 0.23 | 1,500 |
| 344.7 | 529.0 | 0.00 | 0. | 0.9 | 300.0 | 35.6 | 0.78 | 0.57 | 50.8 | 49.1 | 18.44 | 57.6 | 13.3 | 0.10 | 800 |
| 337.3 | 1057.9 | 0.02 | 5. | 2.2 | 605.0 | 45.2 | 0.31 | 1.01 | 53.6 | 60.7 | 21.52 | 47.2 | 14.5 | 0.18 | 540 |
| 455.1 | 1214.1 | 多量 | 0. | tr. | 711.0 | 49.0 | 0.00 | 1.89 | 91.3 | 66.0 | 28.00 | 44.0 | 32.4 | 0.01 | 380 |
| 582.6 | 1803.4 | 多量 | 11.0 | 0.1 | 1260.0 | 65.7 | 0.02 | 0.13 | 19.2 | 48.6 | 14.01 | 50.0 | 39.3 | 0.45 | 380 |
| 461.8 | 859.1 | 0.00 | 0. | 1.6 | 517.0 | 41.4 | 0.11 | 1.43 | 68.2 | 50.2 | 21.13 | 58.8 | 21.2 | 0.10 | 540 |

下流地帯の工業用深井戸，表流水水質一覧表

| $HCO_3^-$ (ppm) | $Cl^-$ (ppm) | $NO_2^-$ (ppm) | $SO_4^{2-}$ (ppm) | $NH_4^+$ (ppm) | $Na^+$ (ppm) | $K^+$ (ppm) | $Fe^{2+}$ (ppm) | $Fe^{3+}$ (ppm) | $Ca^{2+}$ (ppm) | $Mg^{2+}$ (ppm) | 全硬度 (°dH) | total $SiO_2$ (ppm) | $KMnO_4$ cons. (mg/l) | P (ppm) | $\rho_w$ (Ω-cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 87.9 | 27.3 | 多量 | 0.0 | 0.2 | 52.4 | 6.5 | 0.15 | 0.48 | 11.9 | 3.0 | 2.36 | 48.0 | 5.4 | 0.39 | 3,500 |
| 53.7 | 28.4 | 0.00 | 0.0 | 0.3 | 43.6 | 5.4 | 0.00 | 0.14 | 18.6 | 4.5 | 3.64 | 52.4 | 5.2 | 0.27 | 4,100 |
| 73.2 | 24.1 | tr. | 0.0 | 0.4 | 42.8 | 4.8 | 0.11 | 0.19 | 15.5 | 5.0 | 3.31 | 34.4 | 1.7 | 0.39 | 6,100 |
| 30.5 | 11.4 | 0.00 | 0. | 0.2 | 38.9 | 4.1 | 0.00 | 0.02 | 9.8 | 2.8 | 2.01 | 29.2 | 6.3 | 0.28 | 7,100 |
| 28.1 | 8.2 | tr. | 0. | 0.2 | 20.8 | 3.7 | 0.07 | 0.16 | 14.6 | 3.7 | 2.91 | 44.4 | 2.1 | 0.15 | 8,200 |
| 54.9 | 24.1 | tr. | 0. | 0.2 | 51.2 | 5.5 | 0.02 | 0.02 | 18.0 | 3.0 | 3.23 | 31.6 | 9.1 | 0.22 | 4,400 |
| 10.4 | 1.6 | 0.00 | 0. | 0.0 | 26.0 | 3.1 | 0.04 | 0.07 | 11.4 | 1.8 | 2.02 | 54.4 | 2.0 | 0.08 | 7,000 |
| 215.3 | 80.4 | 0.00 | 6. | 0.2 | 121.8 | 5.6 | 0.03 | 0.05 | 3.7 | 2.5 | 1.10 | 30.0 | 31.4 | 0.36 | 2,200 |
| 142.1 | 31.4 | 0.00 | 0. | 0.3 | 54.0 | 4.9 | 0.02 | 0.15 | 9.9 | 2.9 | 2.04 | 40.8 | 7.5 | 0.44 | 3,600 |
| 223.3 | 106.2 | 0.00 | 0. | 1.9 | 130.4 | 9.2 | 0.43 | 0.16 | 5.1 | 5.9 | 2.09 | 44.4 | 26.6 | 0.51 | 2,000 |

| No. | 試 料 採 取 場 所 | 井戸深度 (m) | ストレーナー (m) | Tw (°C) | pH | RpH | dis. $O_2$ (cc/l) | free C (pp |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 100 | 聯合紙器K. K. 東京第二工場 | | 48～52, 89～97, 112～117, 121～126, 142～147, 182～196, 210～219 | 19.9 | 7.6 | 7.8 | 0.84 | 0. |
| 101 | 三菱製紙K. K. 中川工場 | 320 | — | 21.5 | 7.8 | 7.9 | 0.71 | 0. |
| 102 | 日本紙業K. K. 亀有工場 2号井 | 333 | — | 22.3 | 8.0 | 8.0 | 1.39 | 0. |
| 103 | ミヨシ油脂K. K. 第二工場 3号井 | 121 | 64～72, 88～100, 105～121 | 18.4 | 8.0 | 8.0 | 3.92 | 0. |
| 104 | 〃 第一工場 1号井 | 118 | 61～71, 106～111 | 17.8 | 7.9 | 8.0 | 0.71 | 0. |
| 105 | 有限会社田辺染晒工場 2号井 | 114 | | 17.9 | 8.0 | 8.0 | 1.01 | 0. |
| 106 | 石毛染晒有限会社 12″ 井戸 | 230 | 67～96, 111～114, 198～208 | 20.5 | 8.0 | 8.0 | 4.25 | 0. |
| 107 | 〃 エアーリフト 井戸 | 109 | | 17.2 | 8.0 | 8.0 | | 0. |
| 108 | 旭染色工業有限会社 2号井 | 116 | — | 18.8 | 7.5 | 7.9 | | 1. |
| 109 | 鬼怒川ゴムK. K. 第二工場 2号井 | 90 | | 17.6 | 7.5 | 7.9 | | 2. |
| 110 | 特殊製紙K. K. 井戸 | 150 | | 15.9 | 7.5 | 7.9 | | 3. |
| 111 | 浜野セン イ工業K. K. 1号井 | 109 | | 16.7 | 7.2 | 7.6 | | 8. |
| 112 | 〃 2号井 | 211 | 103～120, 136～141.5, 170～184, 195～201 | 18.8 | 7.7 | 7.9 | | 2. |
| 113 | 鬼怒川ゴムK. K. 第一工場 1号井 | 90 | — | 18.0 | 7.7 | 8.0 | | 0. |
| 114 | ミヨシ化学K. K. 1号井 | | 11.8～127, 133～138 | 18.3 | 8.0 | 8.0 | 1.03 | 0. |
| 115 | 東京製鋼K. K. 船堀工場 | 99 | — | 18.5 | 7.3 | 7.7 | | 3. |
| 116 | 第一製薬K. K. 船堀工場 2号井 | 212 | 104～120, 136～142, 170～184, 195～201 | 19.0 | 8.0 | 8.0 | 0.28 | 0. |
| 117 | 〃 エアーリフト 井戸 | 60.6 | — | 16.5 | 7.8 | 8.0 | | 0. |
| 118 | 新河岸川 | | — | | 7.0 | 7.2 | — | 1. |
| 119 | 十條製紙K. K. 十條工場荒川表流 | | — | 9.4 | 6.4 | 7.0 | - | 7. |
| 120 | 東京ガスK. K. 用水荒川表流 | | — | | 6.5 | 7.0 | — | 12. |
| 121 | 古利根川潮止橋 | | - | 24.0 | 6.7 | 7.0 | - | 4. |
| 122 | 中川 中川大橋 | | | 19.9 | 6.7 | 6.9 | - | 3. |
| 123 | 江戸川 葛飾橋 | | - | 23.2 | 7.0 | 7.2 | - | 1. |
| 124 | 市川製紙K. K. 1号井 | 73 | - | 16.2 | 7.6 | — | — | - |
| 125 | 〃 2号井 | 182 | | 19.0 | 7.7 | — | - | 5. |
| 126 | 北越製紙K. K. 市川工場 | 90 | - | — | 7.7 | - | - | 7. |
| 127 | 日本毛織K. K. 中山工場 3号井 | 150 | | 16.7 | 7.8 | — | - | 5. |
| 128 | 〃 5号井 | 165 | - | 18.0 | 7.8 | - | - | — |
| 129 | 市川毛織K. K. 市川工場 | 150 | 45～53, 78～83, 93～104, 116～119, 128～135 | 17.0 | 7.5 | | - | 3. |

註 1) 採水分析 No. 90～No. 123 池田喜代治, No. 94 まで昭和 31 年度, それ以下 32 年度, No. 124～No. 129 安藤武, 昭和 32 年度, (試料採取点第 4 図参照)。

| $HCO_3^-$ (ppm) | $Cl^-$ (ppm) | $NO_2^-$ (ppm) | $SO_4^{2-}$ (ppm) | $NH_4^+$ (ppm) | $Na^+$ (ppm) | $K^+$ (ppm) | $Fe^{2+}$ (ppm) | $Fe^{3+}$ (ppm) | $Ca^{2+}$ (ppm) | $Mg^{2+}$ (ppm) | 全硬度 (°dH) | total $SiO_2$ (ppm) | $KMnO_4$ cons. (mg/l) | P (ppm) | $\rho_w$ (Ω-cm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 115.9 | 3.6 | 0.09 | 0. | 0.4 | 26.7 | 4.7 | 0.03 | 0.11 | 9.7 | 3.4 | 2.15 | 58.4 | 4.6 | 0.24 | 6,000 |
| 100.7 | 0.7 | 0.00 | 0. | 0.3 | 23.9 | 3.7 | 0.05 | 0.01 | 8.6 | 2.1 | 1.71 | 74.8 | 7.6 | 0.16 | 8,000 |
| 97.6 | 0.9 | 多量 | 1. | 0.4 | 26.4 | 3.8 | tr. | 0.01 | 8.2 | 0.8 | 1.31 | 55.6 | 9.1 | 0.15 | 8,000 |
| 150.7 | 6.0 | 0.00 | 0. | 1.3 | 37.3 | 5.0 | 0.06 | 0.03 | 12.8 | 3.6 | 2.62 | 42.4 | 26.9 | 0.18 | 5,000 |
| 145.2 | 7.1 | 0.00 | 0. | 0.9 | 37.6 | 5.3 | 0.02 | 0.04 | 12.3 | 3.3 | 2.49 | 34.4 | 20.5 | 0.06 | 5,000 |
| 180.6 | 9.7 | 0.00 | 1. | 1.1 | 44.4 | 5.7 | 0.02 | 0.03 | 15.2 | 4.1 | 3.09 | 44.4 | 11.5 | 0.22 | 4,500 |
| 125.1 | 3.3 | 多量 | 0. | 0.0 | 30.2 | 4.9 | 0.02 | 0.01 | 11.1 | 2.7 | 2.18 | 45.6 | 9.2 | 0.14 | 6,000 |
| 140.3 | 10.1 | 0.00 | 0. | 0.4 | 39.6 | 5.0 | 0.00 | tr. | 12.6 | 2.7 | 2.39 | 41.6 | 24.7 | 0.18 | 5,000 |
| 154.3 | 11.6 | 多量 | 1. | 0.7 | 46.1 | 5.7 | 0.00 | 0.05 | 12.5 | 3.1 | 2.48 | 46.4 | 9.4 | 0.22 | 5,000 |
| 169.0 | 16.8 | tr. | 0. | 0.1 | 50.9 | 8.5 | 0.00 | 0.06 | 18.8 | 5.1 | 3.82 | 45.2 | 17.1 | 0.18 | 3,000 |
| 248.3 | 136.0 | 多量 | 2. | 1.7 | 158.2 | 9.7 | 0.17 | 0.28 | 6.8 | 6.3 | 2.41 | 47.2 | 16.6 | 0.45 | 1,400 |
| 281.2 | 86.5 | 多量 | 0. | 3.6 | 127.4 | 12.9 | 0.05 | 0.27 | 9.4 | 9.4 | 3.52 | 56.0 | 20.0 | 0.33 | 1,950 |
| 167.8 | 22.0 | 多量 | 0. | 0.6 | 56.2 | 5.8 | 0.06 | 0.03 | 11.9 | 3.2 | 2.41 | 42.0 | 11.6 | 0.32 | 3,500 |
| 176.9 | 16.1 | 0.00 | 0. | 0.0 | 50.4 | 6.2 | 0.00 | 0.07 | 12.9 | 4.1 | 2.76 | 44.0 | 9.5 | 0.22 | 4,500 |
| 228.8 | 7.8 | 0.00 | 0. | 1.6 | 54.0 | 11.0 | 0.01 | 0.03 | 10.7 | 8.7 | 3.53 | 42.0 | 23.7 | 0.16 | 3,560 |
| 160.4 | 40.9 | 0.00 | 0. | tr. | 71.4 | 7.2 | 0.00 | 0.05 | 9.1 | 2.4 | 1.84 | 51.6 | 11.1 | 0.16 | |
| 166.5 | 54.5 | tr. | 0. | 1.4 | 71.4 | 7.8 | tr. | 0.03 | 11.0 | 3.1 | 2.26 | 52.8 | 21.6 | 0.12 | 2,600 |
| 472.8 | 372.8 | 多量 | 0. | 0.9 | 308.0 | 18.2 | tr. | 0.78 | 51.5 | 26.8 | 13.48 | 40.0 | 25.0 | 0.36 | 900 |
| 50.3 | 15.2 | 0.29 | 23.9 | 0.9 | 20.9 | 2.3 | 0.15 | 0.50 | 11.1 | 4.6 | 2.62 | 29.6 | 13.6 | 0.03 | — |
| 50.4 | 26.9 | 0.02 | 41.6 | 1.0 | 22.3 | 2.8 | 0.10 | 0.22 | 20.4 | 6.2 | 4.28 | 24.4 | 1.6 | 0.05 | |
| 65.9 | 54.7 | tr. | 53.0 | 1.5 | 36.2 | 3.9 | 0.21 | 0.68 | 22.4 | 6.4 | 4.60 | 68.8 | 29.8 | 0.30 | 3,400 |
| 30.5 | 17.1 | 0.00 | 54.5 | tr. | 12.9 | 3.5 | 0.02 | 0.15 | 21.0 | 5.5 | 4.22 | 24.4 | 11.9 | 0.03 | 5,000 |
| 27.5 | 20.0 | 0.00 | 56.1 | 0.6 | 12.9 | 5.0 | 0.00 | 0.20 | 22.0 | 5.6 | 4.39 | 24.0 | 16.9 | 0.04 | |
| 25.6 | 8.0 | 0.00 | 25.5 | 0.0 | 7.1 | 2.0 | 0.00 | 0.11 | 12.3 | 3.9 | 2.41 | 19.6 | 6.7 | 0.01 | 9,000 |
| 174. | 6.0 | — | 0. | 0.2 | — | — | | | 2.9 | 2.3 | 0.94 | 31. | 27.2 | 0.84 | 6,000 |
| 129. | 6.0 | — | 0. | tr. | — | — | | | 24.1 | 5.8 | 4.72 | 28. | 4.0 | 0.25 | 4,700 |
| 170. | 6.0 | — | 0. | 0.6 | — | — | | | 14.2 | 5.5 | 3.24 | 34. | 10.6 | 0.37 | 4,600 |
| 136. | 6.0 | — | 0. | 0.4 | — | — | total Fe tr. | | 27.9 | 5.7 | 5.20 | 31. | 5.2 | 0.20 | 7,400 |
| 193. | 6.0 | — | 0. | 1.4 | — | — | | | 4.6 | 1.7 | 1.03 | 28. | 25.8 | 0.80 | 4,200 |
| 130. | 6.0 | — | 0. | tr. | — | — | | | 26.8 | 5.8 | 5.10 | 30. | 4.0 | 0.12 | 5,600 |

第4図　荒川および江戸川下流地域工業用水水質分析水試料採取点（第4・5表参照）

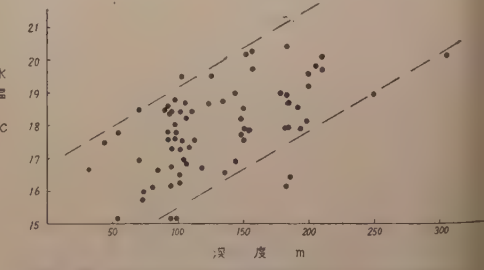
carbonate alkali に変化している。そしてこの南側臨海部にあたる江東区一円では，重炭酸が増加するにもかゝわらず，その化学的組成は noncarbonate alkali の状態になる。これはおそらくいわゆる東京ガス田に由来する天然ガスの附随水と思われる塩水の contamination に原因して，溶存成分が著しく増加し，そのために重炭酸の含有量の占める割合が小さくなっている結果と推定される。

いずれにしてもこの点は後に述べる荒川－荒川放水路左岸地域とかなり相違した関係にある。

（4） $Cl^-$，北部から中部にかけての No. 1～No. 47 の測点群では板橋区の山の手台地側にある深度 80～100 m の井戸に 30～40 ppm の値を示すものが2，3点認められるほかは，すべて 10 ppm 以下に止まっている。しかし墨田区南部から江東区北部にかけての地区では，$Cl^-$ は急激に増加し，墨田区では全体として数百～数千ppm の値となる。こうした $Cl^-$ の増加は $HCO_3^-$ の項で述べた塩水の contamination によるものと考えられる。

また深度との関係では，一般に浅層部から深層部の方が $Cl^-$ の含有量が少ない。その若干例を示したのが7表である。

（5） $SO_4^{2-}$，全般的に小さい値を示している。大部分が10ppm以下で，10 ppm 以上のものは10数点あるにすぎない。特に臨海部で 200ppm 以上の $Cl^-$ 含有量を示す井戸で，$SO_4^{2-}$ が全く検出されないものが10数点認められる。したがつて $SO_4/Cl$（当量比）は一般に小さく，




第5図　荒川および江戸川下流地域における地下水の深度と水温との関係

第6表 同一工場内井戸群の RpH の比較

| 測点番号 No. | 11, | 13, | 25, | 39, 40 | 42, | 63, | 71, |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| RpH | 12 | 14 | 26 | 36, 37 | 45 | 64 | 72 |
| 浅層部 | 7.5 | 7.4 | 7.8 | 7.8 | 7.8 | 7.5 | 7.5 |
| 深層部 | 7.9 | 8.0 | 8.1 | 8.0 | 8.4 | 8.0 | 8.0 |

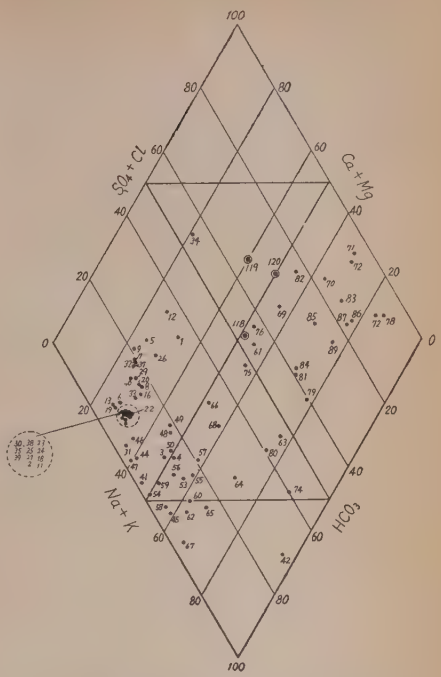
第7表 測点群ごとの深度別平均 $Cl^-$ 含有量

| 測点 / 深度(m) | No. 1～No. 47 の範囲 | No. 48～No. 60 の範囲 | No. 61～No. 68 の範囲 | No. 69～No. 89 の範囲 |
|---|---|---|---|---|
| <100 | 21.1( 8) | 11.9(2) | 154.8(1) | 1182.5(13) |
| 101～150 | 7.0(10) | 17.6(6) | 54.1(3) | 444.5( 8) |
| 150< | 2.8(22) | 19.8(3) | 23.3(3) | — |

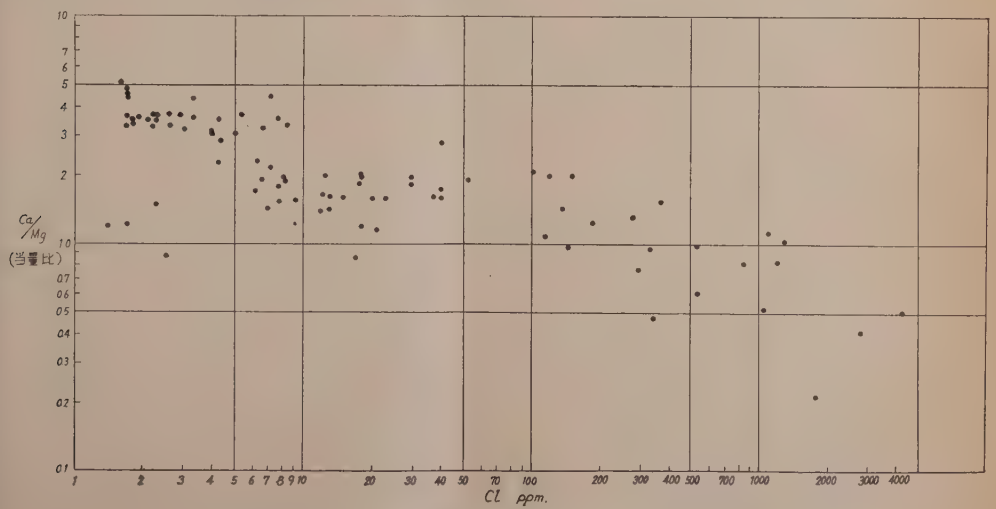
( ) 内は平均試料数, 単位 ppm

以上の比を示すものは No. 21 および No. 18 の2点のみである。

このように $SO_4^{2-}$ の少ない原因は, 帯水層の性質によるものと考えられるが, 特に江東区の $Cl^-$ の多い井戸

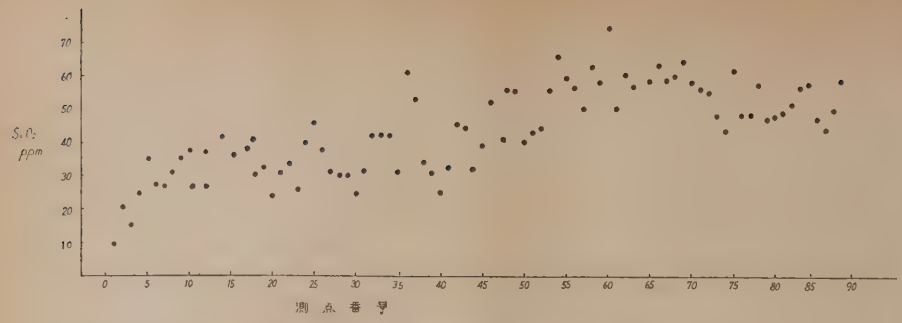



第6図 荒川・江戸川下流地域における工業用深井戸の水質分析結果解析 Key Diagram その1




第7図 荒川および江戸川下流地域における地下水中の Ca/Mg と Cl との関係

註1) 昭和26年度東京天然ガス調査報告によると, 東京ガス田のガス附随水には $SO_4^{2-}$ および $NO_2^-$ がほとんどないことを特徴として挙げている。坑井/KR-6 の分析例によると, 深度 716m で pH 7.6, RpH 7.8, $Cl^-$ 14, 250 ppm, $HCO_3^-$ 851 ppm, 全硬度 88.5°dH であるのに対し, $SO_4^{2-}$ は 0.0 ppm となつている.




第8図 荒川および江戸川下流地域における地下水中の $SiO_2$ の分布

でなお $SO_4^{2-}$ が少ないのは，井戸そのものにガス徴が認められること，あるいは 500～600 m 以下の深部に賦存する東京ガス田のガス附随水の水質[註1)]と類似した傾向をもつていることなどから，いわゆるガス水の混入によるものと考えられうる。

一方 $SO_4^{2-}$ の含有量の比較的多い No. 70～No. 72 など，隅田川沿いの深井戸では，$SO_4/Cl$ が 0.08～0.1 の間にあり，海水のそれに比較的近い関係にある。これはおそらく隅田川の表流を通じての海水の呼び込みに関係しているものであろう。

(6) $NH_4^+$，全般的に値が小さく，少数点以下のものが多い。僅かに江東区に 2～3 ppm の値を示すものがある。

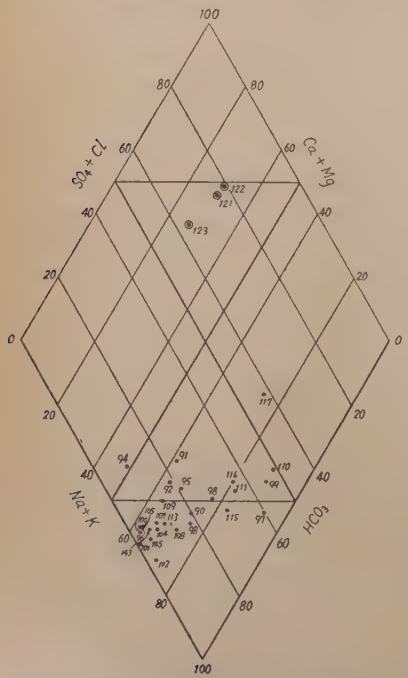
(7) 硬度，$Cl^-$ と同様の傾向を示し，内陸部から臨海部の方に向かつて増加している。深度との関係は明らかでないが，$Cl^-$ の増加に伴なつて Ca/Mg（当量比）が小さくなる傾向がある（第7図参照）。

(8) $SiO_2$，内陸部から臨海部に向かつて多くなる傾向がある。最上流部にあたる測点 No. 1 で 9.6 ppm の最小値，No. 60 で 74 ppm の最大値を示す。臨海部ではほとんど40～60 ppm の間に属している。こうした地理的な変化は，もつぱら地下水と帯水層との間に生じる接触時間に関係しているものと考えられる（第8図参照）。

(9) $Fe^{2+}$，江東区南部で比較的大きな値を示し，なかには 1 ppm以上のものもある。しかしそれ以外では概して少なく，0.1ppm以上の値を示すものは 2，3 測点に認められるにすぎない。

(10) $KMnO_4$cons.，$HCO_3^-$，$Cl^-$ および全硬度などと同様な傾向を示し，溶存成分の増加と相関している。江東区において概して値が大きい。

(11) P，一般に 0.1 ppm 以下のものが多いが，No. 79～No. 81の測点で 0.8～1.16 ppmという異常に高い値を示すものがある。



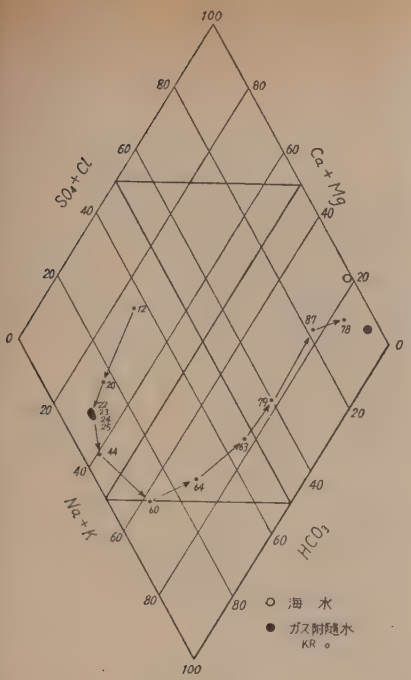

第9図 荒川・江戸川下流地域における工業用深井戸の水質分析結果解析 Key Diagram その2

**荒川放水路左岸，江戸川右岸の地域および一部江戸川左岸地区**（測点No. 90～No. 129，第5表参照）

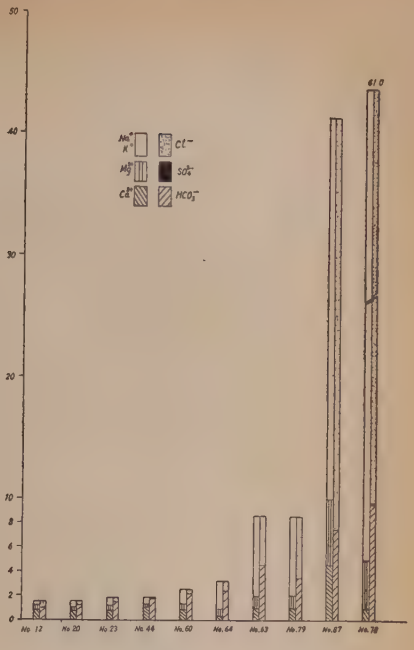
荒川放水路と江戸川とに挟まれた地域は，荒川—荒川放水路右岸地域に匹敵するほどの面積を有しているが，既設井が少ないので，測点の分布密度はるかに小さく，しかも測点位置が地理的に偏在している。

分析結果は第9図に示されているように，大部分が carbonate alkali の区分に属しており，$SiO_2$ を始めとして化学的性質が地区的に系統立つた変化を示さない。

この事実は荒川—荒川放水路右岸地域で化学組成が carbonate hardness, carbonate alkali, noncarbonate




第10図　荒川・江戸川下流地域における工業用深井戸の水質分析結果解析 Key Diagram その3




第11図　江東・都北における地下水の水質組成（単位　epm）

lkali と順次に変化しているのと違つて，かなり明瞭な地域的特徴として挙げることができる。

成分ごとに述べると，まず $HCO_3^-$ および $Cl^-$ の増減が $Na^+$ および $K^+$ の増減と相関しているが，全硬度と他成分との相関はほとんど認められず，全硬度は大部分 1～3.82°dH の間におさまつてしまう。また $SO_4^{2-}$ はほとんどの測点で検出されない。したがつて $SO_4^{2-}$ の少ない点は荒川放水路左右両岸地域の共通的特徴ということができる。江戸川左岸市川市においても $SO_4^{2-}$ については同様の事実が指摘できる。

たゞ $NO_2^-$ については，測定困難なほど多量に含有されているか，あるいはまた全く検出されないかのいずれかであつて，別な意味で特徴のある結果が得られている。

### 水質についての総括

以上荒川―荒川放水路右岸および荒川放水路左岸地域（以下これを右岸地域，左岸地域と略称する）について，水質分析結果の記載を行つてきたが，これらをとりまとめると次のようになる。

1.　右岸地域測点 No. 1～No. 89 に至る範囲では，内陸側から臨海部に向かつて，すなわち北西から南東に向かつて，水質の悪化が認められる。水質悪化を裏書きする水質の化学組成の変化は，Key diagram によつて明らかなように，carbonate hardness から carbonate alkali，さらに塩化物の急激な増加のために，noncarbonate alkali にまで推移している。この関係が第10図および第11図に示してある。

2.　江東区における塩化物の含有量が増加する事実は，塩水の contamination と考えられるが，この塩水はガス水に関係するものと，海水の侵入によるものと，2通りのものが推定できる。

3.　左岸地域では $SiO_2$ をはじめとして水質諸成分がある限られた範囲にかたまり，地理的に系統立つた変化を示さない。そしてその化学組成はすべて carbonate alkali の区分に属している。右岸地域同様 $SO_4^{2-}$ の含有量が少ないことが特徴である。

4.　左右両岸地域の化学組成の相違，先述の水比抵抗の調査結果などから，その境界は一線を区劃するような明瞭なものでないが，左岸地域の地下水と右岸地域の地下水とでは，その供給経路においてまたその流動状態において少なくも相違したのであることがかなり明白に指摘できる。

先回の報告に示したように右岸地域の地下水は荒川水系の，多分荒川本流の表流に関連のある地下水であり，これに対して左岸地域の地下水は利根川水系の，多分綾瀬川か古利根川に関係があるのでないかと考えられる地

下水である。

5. このうち利根川水系の地下水の方は，水比抵抗などの調査結果から，埼玉県草加町ないしは少しその西方鳩ヶ谷町寄り附近から南東方向に流動していることが概略推定できる。この透水部では浅層部がすでに湧出量の減退を生じ，本来の水質を損つているが，深層部に至るほど良質となつている。

### 7. 地下水源保全の面からみた調査所見

1. 東京都江戸川・葛飾両区を中心とする荒川放水路左岸から江戸川にかけての一帯では，厚い沖・洪積層中に地下水が分布している。これらの地下水のうち深度 120m 前後までのものは湧出量も小さく，水質も良好でないが，少なくも 150m 以深になると，湧水量の大きな帯水層があり，水質もまた良好になつている。

2. これらの地下水は現在おもに工業用に利用されており，その揚水量は 75,000 m³/日 前後である。このほか一般の地下水利用を合わせると最盛期 100,000 m³/日に達するものと推定される。そして工業用深井戸のなかには 4,000～6,000m³/日 の揚水量を示し，過剰揚水状態あるいはそれに近づいていると思われる地区もある。

3. 一般に地盤沈下は現在のところ顕著ではない。しかし被圧面地下水の圧力面の低下は，明らかに認められ，葛飾区聯合紙器K. K. では年 3 mにも及んでいる。工業地盤として江東・都北地域に比較してまだ開発度が低いにもかゝわらず，圧力面低下の速度は大きい。したがつて今後開発の急激な進展が起ることを予想し，用水事情の急速な悪化を防ぐため充分な配慮を必要とする。

4. 水質の分析結果，特に先に報告した江東・都北地域の分析結果との比較検討によつて，江東・都北地域の地下水に対し，荒川放水路左岸から江戸川にかけての帯の地下水は，供給経路の異なるものであることが推できる。したがつてこゝの地下水の開発，保全には，東・都北地域のそれと自ら異なつた，別個の考えのもに進められて良いものと思われる。

5. 井戸の揚水量を適正揚水量の限界内に止めるともに，集団揚水に陥らないよう工場種類・工場敷地の整を行うことは，どこの地域にも必要なように，ますこでも厳しく守られなければならない。さらに概略 1m前後までの地下水利用は，できる限りその利用を抑した方がよい。幸いそれ以深の洪積層中の地下水が恵れた條件にあるから，その開発により，なお相当量（多分現在の地下水利用量の 2～3 倍の）開発が期待きよう。

6. いずれにしても荒川放水路と江戸川との中間地は，古利根川の三角洲であり，しかも沖・洪積層の軟な堆積物が異常に厚く発達している事実を重視して，別な配慮のもとに，充分強力な水保全の原則を押し通て行くことが望ましい。

7. 江戸川左岸市川市は現在のところ特にめだつた條件は認められないが，帯水層の湧出能は必ずしもそ大きくないから，過大な揚水量は充分警戒する必要がる。

8. 利根川水系に関係があると推定される地下水については，次年度にかけて行う予定の埼玉県管内の調査進行に伴ない，その上流側の流動経路あるいは供給源どが漸次解明されてくるものと思われる。供給規模もた関東平野全体としてのとりまとめを行う過程において報告できるものと考えられる。

(昭和 32 年 6 月調査

図版　1　地盤の沈下を示す井戸側管の抜け上がり（板橋区蓮根町某化学工場 90m～8 吋の井戸，抜け上がりの長さは 31cm）

図版 2　都北工業地帯
荒川堤から新河岸川を隔てて南方北区袋町一丁目一帯の工場群をのぞむ。
（ほとんどが地下水を用いている）

図版 3　地盤沈下に対処する井戸管理の1例，沈下により井戸側管が抜け上がり，周辺のコンクリート床に亀裂などがはいるのを避けるため，井戸側管と周辺のコンクリート床とも切り離し（間に砂利を入れている），井戸側管の抜け上がりに応じて，ポンプ台のコンクリートをつぎ足して行くようにしてある。32年6月以降150mmの相対沈下量（抜け上がり高）も併わせてよみとれる（足立区東電花畑変電所の深井戸）。

553.77 (52)

# 本邦高鹹泉の温泉地質学的意義

中村久由* 前田憲二郎**

## Thermal Saline Waters in Japan

By

Hisayoshi Nakamura & Kenjirō Maéda

Abstract

Thermal saline waters in Japan are divided into three groups in the ratio of $Cl^-$ to $Br^-$.

The 1st group is the ratio of 0.34 and is emitted from the seashore, the 2nd group is above 0.34 and is distributed in the Tertiary oil fields, and the 3rd group is 0.1 to 0.25 and is located in the Tertiary volcanic or hypabyssal rock and granite areas.

Judging from the similarity in the ratio between the 3rd group and hot springs in the younger volcanic areas, the saline waters of the 3rd group are regarded as the concentrated magmatic water formed at the moderate depth and related to the Tertiary volcanic activity.

## 要　旨

わが国の高鹹泉は，海岸地帯，油田地帯のほか，第三火山岩・半深成岩地帯および花崗岩地帯に分布する。の成分的特徴の一つとして，Br/Cl(×10²) の比率をつてみると，海岸地帯では 0.34 前後（海水の比率は34），油田地帯では一般に 0.34 以上，火成岩地帯では1～0.25 である。火成岩地帯の比率が，一般の火山地温泉の比率とほとんど類似の値をとる事実からみて，の比率こそ温泉プロパーの値であるとみなされる。火成岩地帯の高鹹泉は，多く変質帯を伴なう。火山地温泉と比較して，$Cl^-$ および $HCO_3^-$ 含量がきわめて高こと，そして変質帯を伴なうこと等から推して，高鹹の生成は，まず岩漿から発散した揮発成分が気相の状をとり，その後，この噴気ガスの温度が閉鎖的な環境臨界温度以下に低下したため，揮発成分中の水蒸気が縮熱水ものであり，その多くは，第三紀の火山活動に連ある残留熱水性鉱泉とみなされる。火成岩に伴なう鹹泉のうち，地域的に特徴的なものの例を2，3あげが，最近行われている重水深度の測定結果を参考にすと，高鹹泉の多くは重水系に富み，いわゆる岩漿水により近い性質をもつことを暗示している。

最後に，火成源高鹹泉の生成過程は，浅熱水性鉱床のいわゆる熱水溶液の成因ときわめて類似することを述べ，高鹹泉と鉱床との関係について，なお，多くの問題が残されていることを指摘した。

## まえがき

改めていうまでもなく，わが国の温泉の大部分は新期の火山帯に沿つて分布し，その湧出箇所は，およそ 10,000 にも及ぶといわれている。したがつて，湧出母岩の岩質も場所により区々であるが，新期熔岩および火山性砕屑物で覆われた火山地帯を除き，比較的均一な岩層で特徴づけられる湧出地帯を，2，3あげてみると，第三紀火山岩および半深成岩地帯，油田地帯，花崗岩地帯等がある。

一方，温泉の化学成分を考慮に入れて，地域的な温泉の特徴を吟味してみると，わが国の温泉・鉱泉のなかには，きわめて鹹度の高いものの存在することに気がつく。これらの高鹹泉の分布が，海岸および油田地帯に多いことはいうまでもないが，上記の第三紀火山岩・半深成岩地帯あるいは花崗岩地帯から湧出する温泉・鉱泉のなかにも，このような高鹹泉が存在する場合がある。いわゆる火山帯からはずれた地域の温泉が，むしろ $Cl^-$ 含

* 地質部
** 技術部

量に乏しいという傾向を思い併わせると，上記の火成岩地帯に，なぜこのような高鹹泉が存在するのかという問題が生れてくる。

この問題は，温泉の成因にも関連ある重要な内容を含んでおり，他の面についても，なお，今後検討を要する多くの課題を有すると思われるので，筆者らがこれまで収集した資料に基づいて，特に火成岩地帯に存在する高鹹泉の地質学的意義に触れてみることにする。

本文を述べるに先立ち，内容について種々御検討いただいた東京都立大学教授野口喜三雄博士に対して，深甚の謝意を表するものである。

## 1. 高鹹泉の分布と化学成分

高鹹泉の分布をみると，次の各地域に大別できる。すなわち，(1)海岸地帯 (2)油田地帯 (3)第三紀火山岩ないし半深成岩地帯 (4)花崗岩地帯等である(第1図)。

まず，上記の各地域から湧出する高鹹泉の代表的なものについて，主化学成分および $Br^-$ 含量を示すと第1～4表の通りである。主化学成分のうえからいって，これらの高鹹泉は，特に $Cl^-$ の濃度が高いということ以外に共通した成分的特徴がほとんどないといっても過言でない。また，各地域の高鹹泉についても，それが必ずしも海水ないし油田鹹水と同じ成分比率を示さないのが一般である。例えば，海岸地帯における高鹹泉は，常識的に海水の混入によるとみなされるが，海水そのものとはかなり違った形で湧出するものがある (第1表)。また，油田地帯温泉も，必ずしも一般にいわれるように $SO_4^{2-}$ に乏しく，$HCO_3^-$ が多いものばかりとは限らず，かりに $SO_4^{2-}$ 含量が高く，$HCO_3^-$ の少ないものもある。

海岸地帯および油田地帯におけるこのような例は，これらの地帯の温泉が湧出するまでの間に，酸化，還元等の化学反応によって，成分相互の量的関係が変化しやすいことを示している。この意味において，温泉水に含まれるハロゲンの比率が，地域ごとでおのおのある定まった範囲内の値をとることは注目に値する。すなわち，$Cl^-$, $Br^-$, $I^-$, の最も大きな特徴は，自然界で不溶性の塩類を作ることがきわめて稀であること，したがって，温泉湧出過程で，これらの塩類が沈殿しないということである。このため，海水ないし油田鹹水が二次的に地下水として温泉水中に混入し，湧出するまでの間に，成分相互の間になんらかの変化が生じるような場合が起こっても，ハロゲン含量の比率は，著しく影響を受けることないと予測される。いいかえると，温泉水中のハロゲンの比率は，地域ごとの特徴をそのまま反映するとみなされるのである。

各地域から湧出する高鹹泉のハロゲンの比率は，附

第1図 本邦高鹹泉の分布図

ら明らかなように，次のいくつかの系列に分かたれ註1)。

| | Br/Cl(×10²) |
|---|---|
| (1) 海岸地帯 | 0.34前後 |
| (2) 油田地帯 | 0.34以上 |
| (3) 火成岩地帯 | 0.1～0.25 |

海水そのものの比率は0.34であり，油田鹹水のそれ一般に0.34以上であるから[8]，(1)(2)の温泉水は水ないし油田鹹水の混入を受けたグループとみなすことができる。一方，0.34以下の値をとる温泉は，上記の成岩地帯の温泉だけでなく，いわゆる新期の火山地帯泉もまた，同様の値をとることは注目に値する註2)。なわち，この比率こそ温泉水プロパーのそれであり，わゆる温泉化作用の全系統を通じて，その値がほゞ一のまゝ保たれることを，この数値からかなり明瞭に読とることができる。

以上，ハロゲンの比率が，各地帯の温泉を区別するうに，きわめて大きな役割を果すことを指摘したが，次，各地帯の温泉水が主化学成分のうえでどのような特をもつかという点に簡単な説明を加えておく。

### 1.1 海岸地帯温泉

海岸あるいは海岸に接して位置する温泉のなかに，きめて$Cl^-$含量の高い温泉がある。これらの大部分は海の混入に由来するものであるが，温泉水の化学成分をると，必ずしも海水のそれに一致しない場合がある。なわち，第1表で示した紀伊半島白浜・勝浦温泉および福島県常磐地方の温泉は，ハロゲンの比率からいつ，いずれも海水のそれと同じ値をとるものであるが，水そのものと比較してみると，成分的に次のような相がある。

(1) $Cl^-/SO_4^{2-}$の比率が海水のそれより大きく，特に$SO_4^{2-}$含量の低いものほど$H_2S$が増大する傾向がある。

(2) 陽イオン相互の関係については，特に定つた規性がみられない。これは，温泉が湧出するまでの間，地域的に$SO_4^{2-}$の還元，温泉成分の供給，他水系の入，接触岩層とのイオン交換等の種々の要素が加えらるためと考えられる。

このように，深く浸透したと思われる海水は，海水そのものの成分比率とかなり違つたものとなり，より浅いのほど漸次海水の成分含量に近づく。特に，深く浸透たものは，$H_2S$を伴ない，かつ$SO_4^{2-}$がきわめて少なくなる傾向があり，これについては，なんらかの機構によつて$SO_4^{2-}$の還元作用が行われたことを暗示するようにみえ，この点，きわめて興味ある問題を提起している。

### 1.2 油田地帯温泉

含油第三紀層の分布は，おもに北海道から東北地方の日本海側の地帯を経て，新潟・長野県にまで達している。この地帯の温泉は，もともと自然湧出していたものが少なく，その大部分は石油開発のため行つた試錐によつて湧出をみたものである。

第2表で示すように，この地帯の温泉水は，いずれも油田鹹水と深い繋りをもつものであるが，分析結果によると，必ずしも油田鹹水と共通した性質のものばかりとは限らず，次のような相違を示すものもある。

(1) 比較的$SO_4^{2-}$含量の高いものがある。そしてこの$SO_4^{2-}$含量の高いものは一般に高温である。

(2) $SO_4^{2-}$の場合とは逆に，$HCO_3^-$含量は，低温のものに多く，高温のものほど$HCO_3^-$および$CO_3^{2-}$が乏しくなる傾向がある。

このような傾向からみて，油田地帯温泉といわれるものには，次の2つの型があるようにみえる。すなわち，成分的に油田鹹水にきわめて類似し，温度のみ異常なものと，温度の異常と併わせて，成分的にもかなり油田鹹水と違つた形をとるものとである。

後者の例として，新潟県瀬波温泉について述べると，こゝも石油開発の目的で試錐を行つたところであるが，深度254mで石英粗面岩の貫入岩体に到達し，このなかから高温の温泉水が噴出した。温泉水の化学成分をみると，一般の油田鹹水に較べて成分含量が割合稀薄であり，炭酸塩も少ない。しかし，ハロゲンの比率は，やはり0.34以上の値をとり，油田鹹水が混入したことを暗示している。この瀬波温泉に類する他の例として，やはり新潟県の油田地帯に位置する松之山温泉がある。この温泉の周辺には火成岩の露出がなく，また，深度400mの試錐孔からもその存在が知られていない。しかし，水温が80°Cを超す高温である点を考えると，瀬波温泉の場合と同じように，あまり深くない地下に，火成岩が潜在する可能性も生れてくる訳である。

油田地帯の地質構造は，一般に背斜構造で特徴づけられるが，温泉の存在もまた，この背斜構造に伴なう場合が少なくない。上で述べた瀬波温泉あるいは松之山温泉の背斜構造が，貫入火成岩の影響によるものとすれば，温泉を伴なう背斜構造のなかには，褶曲構造に加えて，貫入火成岩の影響による場合も少なくないと考えられる。したがつて，油田地帯の増温率が，一般に小さい値

---

註1) 一般に温泉水中の$I^-$含量はきわめて少ないので$Br^-$に対する$Cl^-$の比率の方が有効である。

註2) 中村久由・前田憲二郎，温泉中のハロゲンの量比とその地域性，昭和32年度地球化学討論会。

第1表　代表的な海岸地帯温泉の化学成分

| | 水温 (°C) | pH | $Cl^-$ (mg/l) | $HCO_3^-$* (mg/l) | $CO_3^{2-}$ (mg/l) | $SO_4^{2-}$ (mg/l) | $Na^+$ (mg/l) | $K^+$ (mg/l) | $Ca^{2+}$ (mg/l) | $Mg^{2+}$ (mg/l) | $H_2S$ (mg/l) | $CO_2$ (mg/l) | $Br^-$ (mg/l) | $I^-$ (mg/l) | $Br/Cl\times10^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 那智勝浦温泉 | 54 | 8.7 | 1442. | 64.7 | 14.4 | 15.2 | 640 | 13 | 243.5 | 7.4 | 30.8 | | 4.6 | tr. | 0.32 |
| | 56.5 | 8.8 | 886.8 | 71.4 | 13.2 | 63.8 | 426 | 9 | 126.5 | 3.1 | 24.3 | | | | |
| | 45 | 8.5 | 613.5 | 47.0 | 8.4 | 37.0 | 318 | 6 | 79.2 | 2.4 | 13.6 | | | | |
| | 40.5 | 8.1 | 2838. | 47.0 | 4.8 | 366.8 | 1365 | 9 | 357.6 | 111.4 | 1.8 | | | | |
| | 42 | 8.2 | 1399. | 39.1 | 4.8 | 178.1 | 650 | 14 | 141.4 | 93.3 | 1.1 | | | | |
| 白浜温泉 | 65.5 | 8.2 | 673.7 | 1793. | 18.0 | 3.3 | 976 | 61 | 17.9 | 5.7 | 1.7 | | 2.0 | | 0.30 |
| | 56 | 7.5 | 1390. | 4209. | — | 5.8 | 2135 | 67 | 103.6 | 65.1 | 1.0 | 15.4 | | | |
| | | 7.2 | 7375. | 1952. | – | 901.1 | 4600 | 227 | 215.2 | 398.8 | 1.0 | 9.9 | 25.6 | | 0.35 |
| | 73 | 7.6 | 9946. | 1586. | — | 1292. | 4600 | 200 | 201.2 | 363.0 | 2.5 | | 34.6 | | 0.35 |
| 常磐炭田坑内温泉 | 47 | 8.5 | 928.9 | 68.9 | 6.0 | 525.2 | 598. | 12.9 | 106.2 | 0.2 | 25.2 | | 3.1 | 0.6 | 0.33 |
| | 61 | 8.4 | 2225. | 30.5 | 6.0 | 2.7 | | | 292.3 | tr. | 2.7 | | 7.7 | | 0.34 |
| | 57 | 7.8 | 1351. | 141.5 | — | 148.2 | | | 158.6 | 2.8 | 35.1 | | 4.3 | | 0.32 |
| | 61 | 7.3 | 2765. | 46.4 | — | 17.3 | 1308. | 1.9 | 357.7 | tr. | | | 9.3 | 1.7 | 0.34 |
| | 57 | 8.6 | 1680. | 47.6 | 12.0 | 8.2 | 886.3 | 5.5 | 171.5 | tr. | 23.7 | | 5.8 | 1.0 | 0.34 |
| | 58 | 8.1 | 4175. | 48.8 | 3.0 | 8.4 | | | 324.5 | 6.6 | | | 14.1 | 2.7 | 0.34 |

* アルカリ度を便宜上 $HCO_3$ として表わしてあるから，正しい意味の $HCO_3$ とは若干異なる場合がある。

第2表　代表的な油田地帯温泉の化学成分

| | 水温 (°C) | pH | $Cl^-$ (mg/l) | $HCO_3^-$ (mg/l) | $CO_3^{2-}$ (mg/l) | $SO_4^{2-}$ (mg/l) | $Na^+$ (mg/l) | $K^+$ (mg/l) | $Ca^{2+}$ (mg/l) | $Mg^{2+}$ (mg/l) | $H_2S$ (mg/l) | $Br^-$ (mg/l) | $I^-$ (mg/l) | $Br/Cl\times10^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 松之山温泉 | 80. | 7.7 | 9131. | 45.8 | — | 88.9 | 3756 | 98 | 1861. | 26.2 | 0 | 35.9 | <0.05 | 0.39 |
| 〃 湯本 | 80. | 7.4 | 8563. | 41.5 | — | 70.8 | 3750 | 114 | 1817. | 3.7 | 0 | 33.6 | 0.85 | 0.39 |
| 羽根沢温泉 | 47. | 8.3 | 900. | 1525.0 | 90.0 | 2.5 | 1204 | 3 | 4.1 | 1.3 | 0 | 3.9 | 0.20 | 0.43 |
| 温海温泉 | 72 | 7.6 | 1521. | 58.0 | — | 614.0 | 888 | 80 | 279.0 | 3.1 | 1.4 | | | |
| 柏崎1号泉 | 47.5 | 7.1 | 9343. | 524.6 | – | tr. | 5263 | 90 | 278.1 | 83.2 | 0 | 47.2 | 6.7 | 0.51 |
| 〃 2号泉 | 36.5 | 7.1 | 8935. | 603.9 | — | tr. | 5069 | 100 | 266.8 | 97.8 | 0 | | | |
| 長岡温泉 | 41. | 7.5 | 1631. | 538.0 | — | tr. | 1087 | 148 | 40.7 | 7.0 | 0 | | | |
| 新津温泉 | 48.5 | 7.7 | 5106. | 2952.0 | — | tr. | 4291 | 45 | 21.4 | 8.3 | 0 | 22.2 | 6.3 | 0.63 |
| 月岡温泉 | 48 | 7.5 | 1666. | 149.5 | — | 564.6 | 1372 | 28 | 75.4 | 33.6 | 96.2 | | | |
| 最上温泉 | 40.5 | 8.1 | 3386. | 3464.0 | 6.0 | tr. | 3438 | 12 | 14.3 | 3.9 | 0 | 17.1 | <0.05 | 0.51 |
| 湯の浜温泉(新湯) | 47 | 7.2 | 1943. | 37.8 | — | 221.4 | 735 | 61 | 478.7 | 1.5 | 0 | 8.0 | <0.05 | 0.41 |
| 〃 | 60.5 | 8.3 | 3290. | 7.3 | 6.0 | 386.0 | 1369 | 26 | 814.8 | 1.5 | 0 | 14.6 | 0.1 | 0.44 |
| 瀬波温泉 | 104 | 8.6 | 1950. | 46.4 | 22.5 | 240.8 | 1206 | 80 | 93.7 | 1.5 | 2.5 | 11.1 | 0.2 | 0.57 |

第3表　代表的な第三紀火山岩および半深成地帯温泉の化学成分

| | 水温 (°C) | pH | $Cl^-$ (mg/l) | $HCO_3^-$ (mg/l) | $CO_3^{2-}$ (mg/l) | $SO_4^{2-}$ (mg/l) | $Na^+$ (mg/l) | $K^+$ (mg/l) | $Ca^{2+}$ (mg/l) | $Mg^{2+}$ (mg/l) | $Fe^{2+}$ (mg/l) | $CO_2$ (mg/l) | $Br^-$ (mg/l) | $I^-$ (mg/l) | $Br/Cl\times10^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 秋保温泉 | 50 | 6.8 | 4411. | 61.0 | | 307.8 | 1905 | 100 | 926.8 | 4.4 | | | | | |
| 鎌先温泉 | 39 | 8.0 | 1521. | 408.7 | | 1357. | 1506 | 58 | 132.4 | 12.2 | | | 4.4 | 0.25 | 0.28 |
| 〃 | 49.6 | 8.0 | 1542. | 463.6 | | 1362. | 1534 | 60 | 165.0 | 12.0 | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 〃 | | 8.0 | 1546. | 512.4 | 1362. | 1477 | 60 | 123.2 | 11.4 | | | | | |
| 熱塩温泉 | 72 | 7.8 | 6613. | 109.8 | 390.1 | 2990 | 156 | 1128. | 20.5 | | 1.8 | 15.3 | | 0.23 |
| 日中温泉 | | 6.4 | 1815. | 1234.0 | 548.1 | | | 362.0 | 41.1 | | 221.8 | | | |
| 大塩温泉 | 41 | 6.9 | 10546. | 475.1 | 707.4 | | | 460.0 | 364.5 | | 74.8 | 26.0 | 0.25 | 0.24 |
| 〃 塩の沢 | 12 | 6.8 | 3048. | 604.2 | 865.0 | | | 210.0 | 85.0 | | 61.7 | | | |
| 矢立温泉 | 31 | 6.6 | 9145. | 1612. | | | | | | | 198 | 19.8 | 0.96 | 0.21 |
| 日景温泉 | 46 | 6.2 | 6550. | 780.8 | 379.4 | 2977. | 394.9 | 1442. | 218.5 | | | 13.1 | 0.87 | 0.20 |
| 湯之沢温泉 | 46 | 6.1 | 5077. | 575.8 | 70.0 | 2407. | 259.0 | 483.4 | 159.9 | | | 10.1 | 0.70 | 0.20 |
| 鮎川温泉 | 29 | 6.6 | 680.8 | 2061. | 0.8 | 870. | 95 | 81.7 | 41.7 | | 148.5 | | | |
| 入之波温泉 | 38 | 6.5 | 652.5 | 1976. | tr. | | | 692.7 | 41.5 | tr. | | 1.6 | <0.05 | 0.24 |
| 有馬温泉 | | 5.8 | 39715. | 724.4 | tr. | 19079. | 3843.1 | 3752. | 33.2 | 261.8 | | 70.2 | <0.05 | 0.18 |

第4表　代表的な花崗岩地帯温泉の化学成分

| | 水温 (°C) | pH | $Cl^-$ (mg/l) | $HCO_3^-$ (mg/l) | $CO_3^{2-}$ (mg/l) | $SO_4^{2-}$ (mg/l) | $Na^+$ (mg/l) | $K^+$ (mg/l) | $Ca^{2+}$ (mg/l) | $Mg^{2+}$ (mg/l) | $Fe^{2+}$ (mg/l) | $CO_2$ (mg/l) | $Br^-$ (mg/l) | $I^-$ (mg/l) | $Br/Cl\times10^2$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 増富温泉 | 25 | | 2380. | 981. | | 357.9 | 1756. | 225.9 | 157.2 | 12.7 | 8.5 | 217 | 5.5 | 0.20 | 0.23 |
| 〃 | 29 | 6.4 | 3517. | 1403.0 | | 689.7 | 2507. | 328.8 | 269.5 | 23.2 | 42.7 | 256 | 7.6 | 0.35 | 0.22 |
| 〃 | 34 | 6.4 | 3787. | 1616. | | 566.2 | 2773. | 373.9 | 255.3 | 23.2 | 8.5 | 363 | 8.5 | 0.25 | 0.22 |
| 湯村温泉 | 44 | 8.2 | 978. | 9.1 | 6.0 | 335.8 | 595.6 | 9.3 | 177.7 | 3.1 | | | 2.6 | 0.08 | 0.26 |
| 池田鉱泉3号 | 18 | 6.7 | 3688 | 1562 | | 469 | | | 236 | 137 | | 180 | 12.2 | 0.5 | 0.33 |
| 〃 奥の湯 | 22.1 | 6.8 | 3660 | 1523 | | 326 | | | 504 | 113 | | 112 | 11.7 | 0.6 | 0.30 |
| 志学温泉 | 41.4 | 6.4 | 1154 | 369 | | 15 | | | 120 | 60 | | 66 | 4.4 | 0.3 | 0.38 |
| 湯抱温泉 | 31.7 | 7.3 | 4623 | 2580 | | 436 | | | 230 | 98 | | 92 | 16.8 | 0.4 | 0.36 |
| 千原温泉 | 34 | 7.1 | 3717 | 2184 | | 383 | | | 232 | 45 | | 94 | 11.9 | 1.1 | 0.32 |
| 三朝温泉 | 50 | 6.4 | 631.2 | 218.0 | | 126.7 | 444.5 | 27.3 | 44.9 | 7.9 | | | 1.6 | <0.05 | 0.25 |
| 鹿塩鉱泉 | | | 15744. | 122.0 | | tr. | 9162. | 37.0 | 1100. | 67.3 | | | 28.2 | tr. | 0.18 |

第5表　山梨県甲府地方における湧泉の化学成分

| | 水温 (°C) | pH | $Cl^-$ (mg/l) | $HCO_3^-$ (mg/l) | $CO_3^{2-}$ (mg/l) | $SO_4^{2-}$ (mg/l) | $Na^+$ (mg/l) | $K^+$ (mg/l) | $Ca^{2+}$ (mg/l) | $Mg^{2+}$ (mg/l) | $CO_2$ (mg/l) | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 増富温泉 | 34 | 6.4 | 3787. | 1616. | | 566.2 | 2773.0 | 373.9 | 255.3 | 23.2 | 363 | 前田憲二郎 |
| 湯本温泉 | 44 | 8.2 | 978.7 | 9.1 | 6.0 | 355.8 | 595.6 | 9.3 | 177.7 | 3.1 | | 〃 |
| 甲府温泉 | 39.6 | 7.6 | 1414. | | | 13.3 | | | 139.1 | 1.3 | | 秋山梯四郎 |
| 韮崎市井戸水 | 13 | 6.4 | 268 | 36 | | tr. | 280 | | 61 | 31 | | |
| 西山温泉 | 45 | 7.0 | 240 | 42 | | 518 | | | 104 | tr. | 7 | 安藤武 |
| 西山洗濯池 | 24 | 8.0 | 421 | | | 5 | | | 5 | tr. | | |
| 西山塩の池 | 17 | 7.3 | 3748 | | | tr. | | | 78 | tr. | 79 | |
| 塩山川浦温泉 | 43 | 9.2 | 32.6 | 24.4 | | 82.3 | | | 10.0 | 1.1 | | 鈴木孝 |
| 下部温泉 | 37 | 7.0 | 72.9 | 17.6 | | 199.7 | 82.0 | 1.8 | 55.3 | 0.6 | 9 | 日本鉱泉誌 |

をとるという理由も，単に地層内に閉ぢこめられた石油ガスが断熱圧縮等のため，熱を発生するという物理的な現象だけで説明されるものではなく，直接，間接にこの潜在火成岩が，かなり大きな影響を与えていると考えて，さして不都合でないと思われるものである。

### 1.3 第三紀火山岩および半深成岩地帯温泉

前述のように，第三紀火山岩および半深成岩の分布地帯から湧出する温泉・鉱泉のなかに，きわめて $Cl^-$ 含量の高いものがある。その代表的なものについて化学成分を示すと第3表の通りである。

まず，ハロゲンの比率についてであるが，いずれも0.34より低く，明らかに海水ないし油田鹹水のそれと異なつた値をとる。いゝかえると，この地帯の高鹹泉は，なんらかの機構によつて初生的な $Cl^-$ 含量の濃集が行われたことを暗示している。湧出状況等については後で述べることにするが，主化学成分の分析表をみると，$Cl^-$ と併わせて $HCO_3^-$ も，かなり高い含量をとるのが特徴的である。

### 1.4 花崗岩地帯温泉

花崗岩地帯から湧出する温泉・鉱泉のなかにも，やはり $Cl^-$ 濃度の高いものがある。そのなかから代表的ないくつかの温泉を選び，その主化学成分を示すと第4表の通りである。この表をみると，ハロゲンの比率だけでなく，主化学成分間における特徴も，第三紀火成岩地帯の高鹹泉ときわめて共通していることがわかる。

花崗岩地帯の高鹹泉が成因的に，花崗岩そのものと直接的な関連をもつかどうかあるいは単に花崗岩を湧出母岩とするだけのものかという問題は，化学成分のうえだけからでは速断できないので，この点については，高鹹泉の生成環境とその地域的な分布を検討したうえで，改めて触れてみることにする。

## 2. 火山地帯温泉との比較

高鹹泉のうち，海岸および油田地帯に位置するものの大部分は，海水ないし油田鹹水の混入に由来するものであるから，これらの資料に基づいて，これらの地帯における温泉化作用の機構を解析することはきわめて困難である。こゝでは，火成岩地帯の高鹹泉が，どのような環境で生成されたかという問題を考察するための基礎として，いわゆる火山地帯温泉を対象にとり，いくつかの事項につき，それぞれの諸性質を検討してみることにする。

### 2.1 高鹹泉の分布とその湧出状況

まず，火成岩に伴なう高鹹泉の分布についてであるが，第1図で示したように，その多くは第三紀火山岩および半深成岩類と密接な関係がある。そのおもなものをあげてみると，青森・秋田県境に位置する矢立・日景湯沢等の温泉・鉱泉は第三紀石英粗面岩に伴なつて，し，福島県熱塩，日中温泉は第三紀玢岩に，また紀鮎川・入之波等の鉱泉は第三紀石英斑岩に，兵庫県有温泉・宝塚鉱泉は第三紀石英粗面岩に，おのおの密接りをもつて存在する。

このなかから福島県熱塩温泉を例にとり，その湧出況を示すと第2図の通りである。すなわち，この地域

第2図 福島県熱塩温泉附近地質図

第三紀緑色凝灰岩および灰色泥岩層からなり，これをつて石英粗面岩が広く分布する。熱塩温泉を囲む三方山は灰色泥岩を貫ぬく玢岩の貫入岩体からなり，地形にも明瞭にその特徴が現われている。次に，この灰色岩層は湧出地域を中心として，相当著しく変質作用をけている。変質帯の構成は粘土化帯と珪化帯からなり前者は湧出地域を中心としてほゞ北西の方向に延びる一方，珪化帯は粘土化帯の北側を占め，岩質はきわめ堅い。温泉の湧出箇所は狭く，湧出量も少なく，深

..5m における地温分布調査の結果によると，17°C 以上の地温異常帯は 70m×60m 程度の範囲にすぎない。

いま述べた変質帯の発達は，熱塩温泉だけに限らず，前記の日影・湯沢・有馬等に加えて，山梨県増富等の温泉・鉱泉においても認められ，温泉ないし鉱泉の成因と密接な関係があることを示している。高鹹泉を伴なう火成岩が石英粗面岩等の火山岩類だけでなく，玢岩ないし石英斑岩等の半深成岩を主体とし，しかも変質帯と高鹹泉との間に密接な関係があることは，高鹹泉の成因およびその生成環境を考察するうえにきわめて注目すべきことがらである。

### 2.2 水　温

高鹹泉を特徴づけることがらの一つは，全般的に水温が低いということである。もちろんなかには有馬温泉，(89°C)，熱塩温泉（66°C）のように高温のものもあるが，その例は少なく，大部分は 30～40°C の間にあり，また，宝塚・池田鉱泉のように普通の地下水程度の水温しかないものもある。

このように幅広い水温の変化がなにに帰因するかという問題に関連して，ある地域内の高鹹泉をとりあげて水温の分布をみると，例えば，熱塩・日中地域，有馬・宝塚地域，日景・矢立地域のように，かなりはつきりした温度差がみいだされる。このように，ある地域内でかなり明瞭な温度差がみられるにもかゝわらず，全般的にはむしろ高温のものが数少ないことを併せ考えると，高鹹泉の水温は，低温であるのが本来の形であり，高温のものは，温度に関する限り，異常であると考えられる。いいかえると，この水温の異常は，もともと温泉の温度ではなく，むしろ，低温の高鹹泉に，より新しい温泉化作用による熱が供給されたことに帰因するという疑いも生じるのである。

### 2.3 化 学 成 分

高鹹泉相互の化学成分については，前項で述べたが，こゝでは火山地帯温泉との比較という意味で取り上げてみる。

高鹹泉を特徴づける $Cl^-$ 含量は，最高有馬温泉の 43.79 g/$l$ である[3]。一方，火山地帯温泉における $Cl^-$ 含量の最高は群馬県万座温泉の 3.41 g/$l$ であり，これに次いで秋田県玉川温泉の 3.115g/$l$ 等である[7]。火山地帯温泉における $Cl^-$ 含量の分布をみると，いま述べた高含量の温泉は，いずれも噴気地帯に伴なうもので，いわば火山活動の浅い場に位置する温泉である。これに対して，火山地帯から遠ざかつた準火山地帯および非火山地帯[註3]における温泉の特徴をみると，一般に $Cl^-$ に乏しく $SO_4^{2-}$ あるいは $HCO_3^-$ を主成分とする。したがつて，火山地帯が中心を占め，その外側に，準火山地帯および非火山地帯が配列するという巨視的な見方からすれば，火山作用によつて供給された $Cl^-$ 含量の分布は，中心ほど含量が高く，外側ほど含量が逓減することになる。この傾向は，火山地帯温泉のなかの 1 地域を取り上げた場合も同様であつて，火山作用の旺盛な中心ほど $Cl^-$ 含量が高く，その外側ほど $Cl^-$ 含量が逓減し，$HCO_3^-$ が増大する例とほとんど一致する。

高鹹泉の分布が，$Cl^-$ 含量に乏しい準火山地帯あるいは非火山地帯に位置するということは，火山作用と関連ある温泉の地域性という立場からみると，成分含量のうえで相反的な現象である。いゝかえると，成因的に，この $Cl^-$ 含量の少ない一般の準火山地帯温泉あるいは非火山地帯温泉と，高鹹泉とが，かなり違つた機構によるものであろうことは察するに難くない。さらに，高鹹泉を伴なう火成岩がおもに第三紀火山岩あるいは半深成岩類であることも，火山地帯温泉と区別するうえの大きな特質の一つであるが，同時に，これらの高鹹泉が一般に低温であり，しかも湧出量がさほど多くないという点もまた，特徴的なことがらとして充分留意する必要があると思われるのである。

## 3. 火成岩に伴なう高鹹泉の生成環境

火山地帯温泉の成因が，噴気ガスと地下水との接触によるという考え方は，火山地方における種々の現象からみてほとんど疑いの余地がないようにみえる。すなわち，火山地帯温泉は，岩漿から発散される揮発成分が，直接，間接外界に逸出することに繋りをもち，揮発成分の発散状態からいえば，いわば開放系の温泉化作用によるということができる。したがつて，噴気ガスとして地表から発散するか，あるいは温泉として湧出するかということの違いは，地下水圧とそれに対する噴気ガスの蒸気圧との相対的な圧力関係に置き換えられる。すなわち，原則として噴気ガスの温度が充分高く，その蒸気圧が地下水圧より大なる場合は噴気地帯を形成し，小なる場合は温泉地帯を形成するという表現が可能である。

一方，火山地方の変質地に伴なつて温泉が存在する場合が少なくない。火山地方における変質帯の存在は，いわゆる開放系温泉化作用によつて周囲の岩層に加えられた具体的な熱化学的変化の形跡であるが，変質帯に伴なう温泉水の化学成分を検討してみると，噴気地帯から温泉地帯へ移行する動機は，地下水の浸透深度の増加に関

註3）いわゆる火山帯上にあつて，しかも周辺に新期火山の存在しない地域，および火山帯からはずれた地域を指す。

係があり，同時に，地下水に供給される $Cl^-$ の含量は，浸透深度の増加に伴なつて増大する傾向がある[1]。

このように，開放系温泉化作用に関連ある温泉水の $Cl^-$ 含量が，地下水の浸透深度あるいは熱源の深さによつて増減するという現象は，噴気ガス自体の行動を反映する意味で注目に値する。準火山地帯温泉あるいは非火山地帯の温泉水が，$Cl^-$ に乏しく，$HCO_3^-$ あるいは $SO_4^-$ で特徴づけられるということも，いま述べた意味からいえば，より深部に位置する熱源から発散した噴気（あるいは熱気）ガスと，地下水との接触状態を暗示するものであり，成分的特徴を重視するなら，これらの温泉は，なお揮発成分を発散する岩漿から熱と成分の供給を受けているか，あるいは熱伝導によつて熱の供給のみを受けているかのいずれかであると考えられる。いゝかえると，たとえ地表に変質帯が存在しない地域であつても，この地帯の温泉は開放系の温泉化作用[註4]に関連があるということがらに，明瞭な根拠を与えているとみなされるのである。

いま述べたように，噴気地帯あるいは温泉地帯もしくは火山地帯あるいは準(非)火山地帯のいずれの場合であつても，開放系の温泉化作用は，直接，間接に，噴気（あるいは熱気）ガスの熱と成分とが系外に搬出される過程で行われるものであるから，この作用の行われる深さの限度は，少なくとも地下水の浸透深度以内に限られるといつて過言でない。

一方，$Br^-$ に対する $Cl^-$ の比率をみると，火成岩地帯の高鹹泉が新期火山地帯の温泉と同一の値をとることは，温泉地質的にきわめて大きな意義をもつ。すなわち，温泉化作用の過程において，それに関与する成分の比率が，火山地帯温泉の場合と同じ関係にあることを示しているからである。したがつて，$Cl^-$ を指示成分とみなすと，火山地帯温泉において，最高 3.41g/$l$ という溶存量が，一方において 43.79g/$l$ というきわめて高い含量を有するに至る過程が，どのような機構で行われたかという点に問題の焦点がしぼられることになる。

前述のように，高鹹泉を伴なう火成岩地帯はしばしば変質作用を受け，粘土化帯および珪化帯を形成する。このような変質帯の存在から推察すると，高鹹泉の生成に関連ある温泉化作用は，まず気相の状態から始まり，次で成分の濃集が行われたと考えることができる。すなわち，岩漿から発散した揮発成分がまず気相の状態で分離し，変質帯を形成した後，なんらかの原因により，この揮発成分が系外に放散されることなく濃集し，時間の経過とともに，臨界温度(374°C) 以下に温度が低下すると揮発成分のなかの水蒸気が凝縮熱水化する。このために揮発成分から導かれた $Cl^-$，$HCO_3^-$ およびその他の成分の濃集が行われ，こゝに高鹹泉の母体が生成されたと解されるのである。高鹹泉を伴なう火成岩が，おおむに第三紀の火山岩あるいは半深成岩であることからわかるように，おそらくその温泉化作用は，現在火山地方にみられる温泉化作用の場より，いく分深いところで行われたものと推察される。あるいは，火山地方の場合であつても，噴気ガスの逸散がなんらかの原因によつて妨げられ，閉ぢこめられた水蒸気が凝縮熱水化する條件がそろえされるなら，火山地方においても，この種のいわば熱水性温泉の生成が可能であろう。いずれにしても，岩漿から発散される揮発成分が気相から液相に移行することにより，成分の濃集が行われるという点に，一般の火山地帯温泉と異なる特質があり，この意味において，前者の開放系温泉化作用に対して，この高鹹泉の生成に関連ある温泉化作用を閉鎖系温泉化作用ということができる。したがつて，現在みられる高鹹泉は，第三紀の火山活動によるものが大部分を占め，生成以来，岩層の裂罅を充塡していたものが，その後，上部岩層の削剝により，はじめて湧出の機会が与えられたものであり，むしろ低温であることも，第三紀以降の長い時間の経過により，漸次冷却したと考えれば，充分解釈できることがらである。このように考えると，高鹹泉もまた岩層の裂罅を満した鉱泉質地下水であり，さらに新期の火山作用によつて，その一部に熱と成分が供給されたと考えれば，高鹹泉のなかに異常水温をもつことの理由も，ある程度首肯できると思われるのである。

いま述べたように，その生成の場が，ある程度閉された環境にあり，気相の状態で岩漿から発散した揮発成分が臨界温度以下で，遂に凝縮熱水化するという特徴に着目すれば，この高鹹泉は，いわば残留熱水性温泉（鉱泉[註5]）ということができよう。

### 4. 特徴的な 2, 3 の高鹹泉について

前項では火成岩に伴なう高鹹泉について，その性格の要点を述べた。これらの高鹹泉は，その多くは前記の火成岩に伴なうのが普通であるが，場所によつては種々の岩層を湧出母岩とし，ある地域内に散点的に分布する場合がある。この例として，山梨県甲府地方の温泉・鉱泉

註4）噴気（熱気）ガス成分が地下水に吸収され，熱と成分が外界に運び出される意味において，開放系の温泉化作用と考えられる。

註5）これに対して，開放系温泉化作用に関連ある温泉は，噴気性ないし熱気性温泉ということができる。

第3図　甲府地方湧泉分布図

の分布とその化学成分を示すと第3図および第5表の通りである。この地方には，増富・湯村・甲府等の $Cl^-$ 含量の高い温泉に加えて，西山元湯・西山塩の池鉱泉等のかなり $Cl^-$ 含量の多い湧泉があり，韮崎市の地下水のなかにも $Cl^-$ 含量に異常を示す湧水が知られている。

これらの温泉・鉱泉は，全く散点的に存在するようにみえるが，この地方に広く分布する第三紀石英閃緑岩との関係をみると，この両者の間にかなり密接な関連が存在することに気がつく。いいかえると，この地域の $Cl'$ 異常泉は，この石英閃緑岩の火成活動に関連ある残留熱水性鉱泉を母体とする見方も生れてくる。このような観点からすれば，第三紀以前の古期花崗岩を湧出母岩とする増富温泉は，少なくとも $Cl^-$ 成分に関する限り，花崗岩そのものとは直接の繋りがないと考えられる。

一方，この甲府地方には，全く性質の異なる他の温泉群がある。すなわち，下部・川浦等の温泉であつて，これらは，$Cl^-$ に乏しく，$SO_4^{2-}$，$Na^+$，$Ca^{2+}$ 等の成分で特徴づけられる。これらの温泉は，上述の成分的特徴からいつて，準火山地帯温泉の基本的な型に相当することについては，すでに指摘した通りである。したがつて，この地方の温泉・鉱泉は，$Cl^-$ で特徴づけられるものと，$SO_4^{2-}$ で特徴づけられるものとの両極の型に分けられるが，さらに，このなかには，両極の混合型もまた存在する。その一つの例として，前述の増富温泉において，最近行われた深度別による成分分析結果によると[1]，各深度ごとで $Cl^-$，$SO_4^{2-}$，Rnの含量がおのおの別個の動きを示し，結局，増富温泉は，これらの成分を含むおのおのの水系の混合からなるといわれている。増富温泉の放射能が，地表浅部に潜在する放射性沈殿物に由来することについては，すでに黒田により指摘されている通りであるが[4]，この深度別調査の結果によつて，さらに $Cl^-$ および $SO_4^{2-}$ もまた，おのおの独自の水系として混合していることが明らかとなり，結局，Rnは古期花崗岩中の放射性沈殿物から導かれ，$Cl^-$ は第三紀石英閃緑岩の残留熱水性鉱泉の成分であり，$SO_4^{2-}$ は新期火山活動の温泉化作用によつて供給されたという解釈も可能であると思われるのである。

なお，山陰地方の花崗岩に伴なう高鹹泉のうち，三瓶火山周辺に分布する志学・湯抱・池田等の放射能性の温泉・鉱泉も，高い $Cl^-$ 含量と $HCO^-_3$ 含量で特徴づけられ，見掛上，火成岩地帯の高鹹泉ときわめて類似した化学成分をもつ。しかし，Br/Cl の比率をとつてみると，むしろ海水のそれに近い値をとることは注目に値する。高鹹泉の放射能は，甲府地方と同じように，花崗岩から導かれたとみて疑問はないように思われるが $Cl^-$ の根源が，花崗岩の火成活動に関連ある初生的な残留熱水であるか，あるいは海水の影響によるものであるかについては，今後なお，検討を要する問題を残している。

このほか火成岩地帯の高鹹泉のなかで，特に注目を引くものとして，中央構造線東側の鹿塩片麻岩のなかから湧出する鹿塩鉱泉がある。第4表に示した化学成分から明らかなように，この鉱泉は古期変成岩のなかに位置するにもかゝわらず，その $Cl^-$ 含量は 15g/$l$ 以上というきわめて高い含量を示す。その場所からいつて海水の影響を受けたと考えられず，また，その近くに，新期の火成岩類も存在しない。しかし，Br/Cl の比率をみると，0.18 という低い値を示し，明らかに，$Cl^-$ は火成活動によつて供給されたことを暗示している。これらのことがらから推察すると，鹿塩片麻岩に伴なう高鹹泉は，変成岩の生成時に供給された揮発成分が長く岩層内に閉ぢこめられ，残留熱水性鉱泉の形をとつたものが，その後上部岩層の削剝により湧出するに至つたという解釈も可能である。もちろん，この考え方も一つの解釈にすぎないが，いずれにしても，このような地域に火成源の高鹹泉が存在することは，温泉地質学的に，きわめて興味ある問題を提起している。

最後に，これまで述べた火成岩地帯の高鹹泉は，成因的に岩漿の揮発成分が凝縮濃集した残留熱水に相当するという見方からすれば，いわゆる岩漿水により近い性質をもつことになる筈である。初生的な岩漿水の成分濃度を規定することは不可能であるから，高鹹泉のうち，どの地域のものが，どの程度に初生的な濃度を保持しているかを決定することはできないが，この岩漿水の問題に関連して，最近行われている重水濃度の測定結果を参考にすると，高鹹泉と重水濃度との間に，次のような傾向がうかがわれる。この参考資料は，東京都立大学千谷利三教授および堀部・小早川氏等によるものであるが[2]，わが国各地の温泉について，東京都水道水に対する重水素(Denterium)偏差を測定したもののなかから，特に重水素に富むものを挙げると，北海道貝取澗（炭酸湯），青森県上の湯，岩手県夏油，秋田県日景，福島県西山（五畳敷），山形県上の山，兵庫県有馬，鳥取県三朝等がある。このうち，青森県上の湯は，油田地帯温泉の可能性が強いが，ほかは，ほとんど第三紀火成岩および花崗岩地帯から湧出し，主化学成分のうえでは，いずれも $Cl^-$ および $HCO_3^-$ で特徴づけられるものである。このなかには，なお未調査の地域もあり，その全部を火成岩地帯の高鹹泉と断定する訳にはいかないが，本文で取り扱つた高鹹泉のいくつかの例をとつてみても，その重水素の濃度が，かなり高い傾向を示すことはきわめて注目に値する。この結果からみても，火成岩地帯の高鹹泉は，温泉のなかでも，より岩漿水に近い性質をもつことの一端を暗示しているように思われるのである。

## むすび

以上いくつかの項目にわたり，わが国の温泉のなかから特に高鹹泉をとりあげ，その要点を説明したが，このうち，火成岩地帯に伴なう高鹹泉について，その成因的な経過を組立ててみると，鉱床の生成に関連ある熱水溶液の生過過程を髣髴たらしめるものがある。すなわち，浅熱水性鉱床の場合，その多くが変質帯の形成に引続き鉱物成分の濃集と充塡とが行われたことを考えると，最近 H. Schmitt によつて指摘されたように，その生成の場は噴気性温泉の影響を受けるだけでなく，鉱物成分の濃集をもたらす因子として変質帯の形成にあづかつた噴気ガスが，さらに閉鎖的な環境で凝縮熱水化する條件を満足することが必要であり，この過程を経て，初めて鉱床形成のために必要な熱水溶液の母体が作り出されると推定されるからである。

このように，火成岩に伴なう高鹹泉の諸性質は，熱水性鉱床の成因にも繋る重要な内容を含んでおり，今後，高鹹泉を研究することにより，鉱床との関連においてさらに多くの手掛りが得られるものと期待され，この方面においても高鹹泉は，きわめて大きな地質学的意義を有するとみなされるのである。（昭和32年10月稿）

## 文献


1) 秋山梯四郎・伏見弘：増富温泉及び同地域における試掘井の地球化学的研究，日本化学会誌，Vol. 76, No. 6, 1955
2) 地質調査所：日本鉱産誌，B VI-a 地熱および熱・温泉，1957
3) 池田 長生：有馬温泉の化学的研究（第3～4報）天満宮湯の化学組成その1；その2，日本化学会誌，Vol. 76, No. 7, 1955
4) Kuroda, K.：Strongly Radicactive Springs Discovered in Masutomi, Bull. Chem. Soc, Japan, Vol. 19, No. 3, 1944
5) 中村久由・比留川貴：群馬県万座温泉調査報告—特に変質帯と噴気・温泉との関係—2—，地質調査所月報，Vol. 8, No. 1, 1957
6) 中村久由・鈴木孝：長野県浅間温泉調査報告—特に中部信濃地方温泉群の地域性に関連して—，地質調査所月報，Vol. 8, No. 2, 1957
7) 野口喜三雄・上野精一：玉川温泉調査報告，玉川温泉研究10週年誌，1954
8) Noguchi, K. & Ueno, S.：Geochemical Investigation of Brine Waters of Oil Fields in Japan, Publication no. 37 de e' Associationale d'Hydrologie (Asse mbleée géneérale de Rome, tome II), 1956
9) Schmitt, H.：Origin of the "Epithermal" Mineral Deposits, Econ. Geol., Vol. 45. No. 3. 1950

553.96 : 553.12 (521.24)

# 群馬県高崎亜炭田炭質調査報告

佐々木　実*

# On the Properties of the Takasaki Coal in the Takasaki Lignite Field, Gumma Prefecture

By

Minoru Sasaki

Abstract

In order to make clear the properties of the Takasaki coal, the writer collected the series samples of coal at fourteen coal mines in the Takasaki lignite field, for eighteen days in November, 1953.

According to three results of the industrial, ultimate and I-T analyses on these samples, the following facts were cleared.

1) According to the classification of JIS M 1002, the Honsō coal belongs to the lignite $F_1$, $F_2$, and the Jōsō coal to the lignite $F_2$.

2) The results of I-T analysis on the Honsō and Jōsō coals are shown in the following table.

| Constituent / Coal seam | Durite (%) | Clarite (%) | Vitrite | | Fusite |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Collinite (%) | Sclerovitrinite (%) | Semifisinite (%) |
| Honsō | 19.5～44.2 | 13.8～26.0 | 26.8～50.5 | 6.3～12.4 | 3.0～5.3 |
| Jōsō | 17.4～19.1 | 13.4～13.6 | 49.5～50.5 | 11.6～12.5 | 5.4～7.0 |

3) About the contents of carbon, hydrogen and volatile matter, and calorific value <moisture-and mineral-matter-free basis>, the writer recognized the following order :

Durite >clarite >vitrite >fusite

4) As the depth of Honsō increases to the dip side, its width increases, but the reverse phenomenon occurs in ash content.

## 要　旨

筆者は石炭組織の顕微鏡的研究の一環として，最も炭化度の低い褐炭の組織を明らかにすることを目的として，昭和28年11月4日から21日までの18日間，高崎亜炭田各炭鉱の坑内で石炭試料を採取した。

これらの試料について，工業分析・元素分析および組織分析を行った結果次のようなことがらが判明した

(1) 本層炭および上層炭は，ともにいわゆる本質亜炭で，前者は褐炭$F_1$，$F_2$に，後者は$F_2$に属する。

(2) 両炭層の石炭は，ドリット (17.4～44.2%)，クラリット (13.4～26.0%)，コリニット (26.8～50.5%)，スクレロビトリニット (6.3～12.5%) およびセミフジニット (2.3～7.0%) からなる。

(3) ドリットは最も揮発分・炭素および水素に富み発熱量も最も高い。ドリットに次いでクラリット，コリニット，スクレロビトリニットおよびセミフジニットの順でこれらの成分および発熱量は減少する。

* 燃料部

(4) 炭田深部の未開発地域においては，比較的厚い炭層（本層）の発達が期待される。

## 1. 緒　言

近年わが国において，大学・官民試験研究所および石炭鉱業会社などで，石炭組織を種々の方面に利用しようとして，その顕微鏡的研究が盛んに行われるようになり，一部では着々とその成果があげられている　しかし石炭組織の研究を進めるにあたつて，その基礎となる日本炭の組織の分類法についての考え方は，従来各研究者によつて異なつていたが，最近ようやく石炭組織研究会において石炭組織成分の分類法が決定された。また瀝青炭の組織については，かなりの研究がなされているが，褐炭についてはほとんどなされていないのが現状である。

筆者は石炭組織の顕微鏡的な研究の一環として，最も炭化度の低い褐炭の組織を明らかにすることを目的として埋蔵量の比較的大きい高崎炭田をとりあげ昭和28年11月4日から21日までの18日間に14炭鉱の坑内で本層炭について12本，上層炭について2本の柱状試料を採取した。

本調査にあたつて種々協力を賜つた各炭鉱の関係各位に謝意を表する。

## 2. 位置および交通

高崎炭田は，群馬県高崎市の南西方約2kmの点を北西から南東に走る丘陵地帯に位置し，夾炭層は碓永川を挟んで南北両側の丘陵に分布し，碓永川の北部は安中地域，南部は高崎地域と呼ばれている。

この炭田内には東方の高崎市から碓永川に沿つて信越線が東西に走つているほか，バスおよびトラック道路もよく発達していて，交通の便は比較的良好である。

## 3. 地質および炭層

高崎炭田を構成しているおもな地層は，下位から新第三紀の富岡[註1]・下部板鼻・上部板鼻および秋間の4累層と，さらにこれらを不整合に覆う更新世の野殿集塊岩層とである。

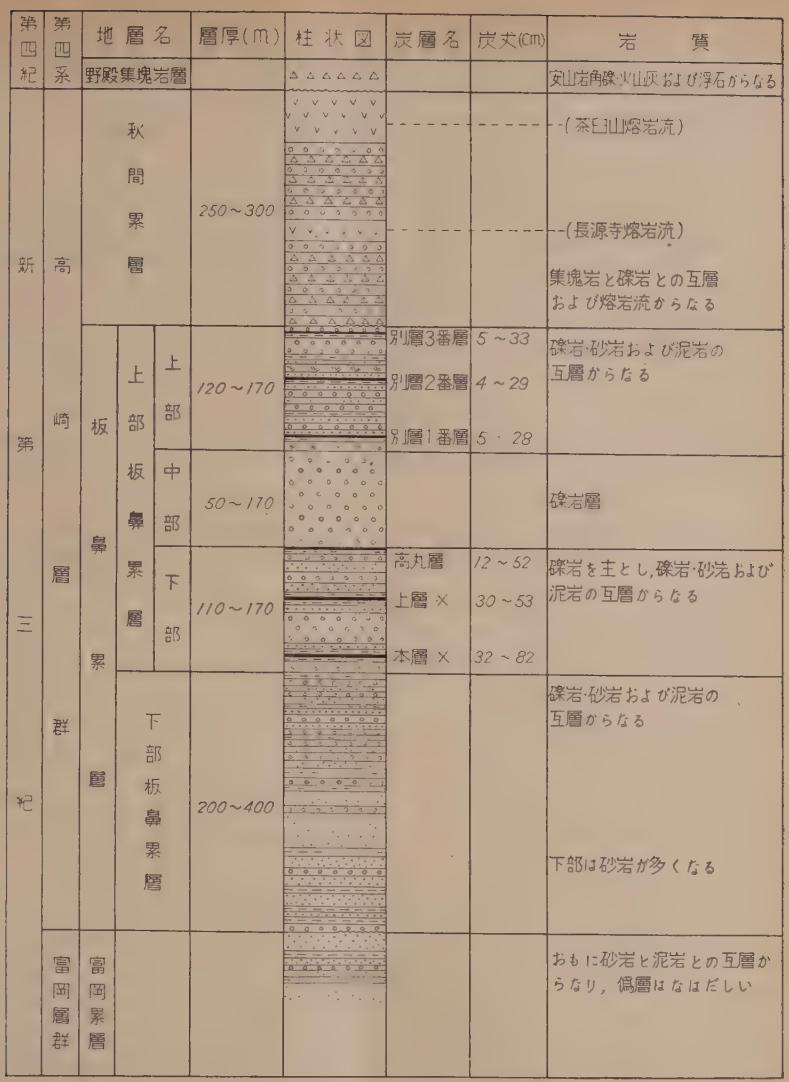
本地域の南西部には最下位の富岡累層が分布し，北東方に進むにしたがつて，これより上位の各地層が順次帯状に分布している。各地層の層厚および岩質は第2図に記載されている通りである。

本炭田の第三系は，単斜構造を示し，炭層は安中地域においては走向N70～90°W．傾斜8～13°Nで，高崎地域においては走向N40～65°W，傾斜14～30°NEである。

高崎炭田における主要夾炭層は上部板鼻累層で，これはさらに上・中・下の3部に分けられる。下部には下位から本層・上層および

第1図　高崎炭田地質図（渡辺新六・中村栗二・坊城俊厚による）

註1）富岡累層の地質時代は中新世中期と考えられている。




※ 現稼行炭層

第2図　高崎炭田模式地質柱状図

高丸層，上部には下位から別層1番層・別層2番層および別層3番層などの炭層が発達している。

(1) 本　層

本層は最も重要な稼行炭層で，安中地域の磯貝炭鉱から高崎地域の赤岩炭鉱まで，全地域にわたつて良く発達している。

山丈 55～171 cm，炭丈 32～82 cm で，上盤は灰色泥岩，下盤は灰白色の泥岩である（第3図参照）。

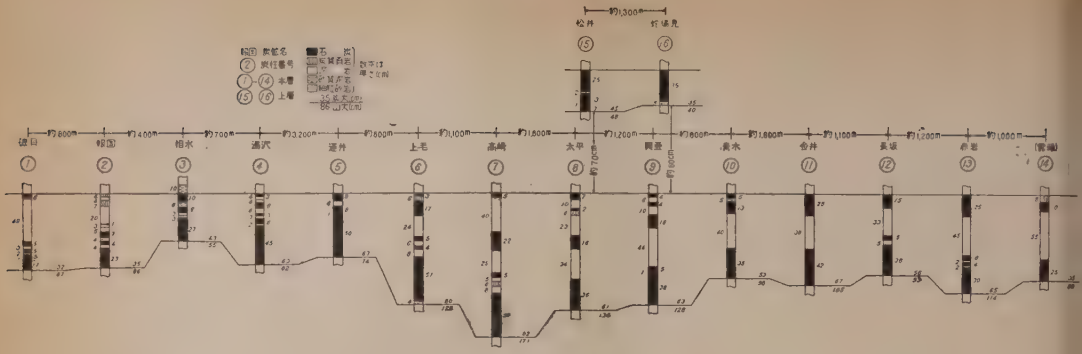
本層は現在安中地域では3炭鉱，高崎地域では9炭鉱において稼行されている。

(2) 上　層

上層は高崎地域において，本層の上位 60～70 cm に発達する炭丈 35～45 cm の薄層である。炭層の上・下盤はともに灰色の泥岩である。現在松井・蛇場見両鉱で稼行されているにすぎない。

(3) 高丸層および別層

高丸層は高崎地域に，別層は安中地域にみられるが，いずれも膨縮がはなはだしく，一般に炭丈が 10～30 cm 程度の薄層である。したがつてこれらの炭層は現在稼行の対象となつていない。



第 3 図

## 4. 炭 質

### 4.1 工業分析および元素分析

本層炭および上層炭はいわゆる木質亜炭で，2～3の炭鉱を除けば灰分は一般に少なく 11～18.7％である。

発熱量(無水無灰基)は本層炭が 6,670～6,980 kcal/kg，上層炭は 6,450～6,580 kcal/kg で，本層炭は上層炭に較べて発熱量が高い。元素分析結果によれば，両炭層の石炭の炭素含有量は，67.21～69.98％で最も多く，ついで酸素の 21.98～25.14％，水素の 5.14～6.54％，硫黄の 1.11～1.40％および窒素の 0.63～0.96％の順となつている。

日本工業規格炭量計算基準（JIS，M1002，1953)の分類によれば，本層炭は褐炭 $F_1$，$F_2$ に，上層炭は褐炭 $F_2$ に属する（第1表参照)。

### 4.2 発熱量と固定炭素・炭素および水素との関係

第1表から本層炭について発熱量と固定炭素・炭素および水素（いずれも無水無灰基）との関係を求めると第4図 a～c のようである。

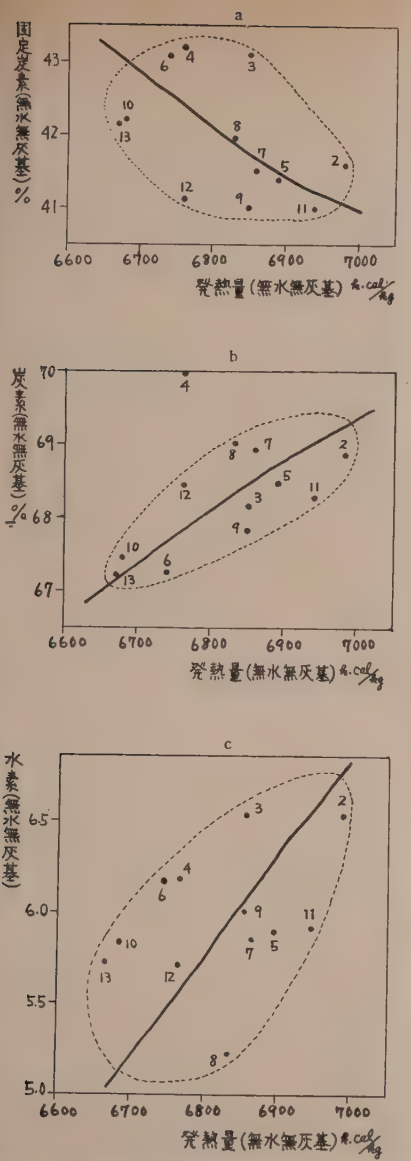
これらの図から発熱量が増大するにしたがつて固定炭素は減少し，炭素と水素は反対に増大する傾向が認められる。

一般に褐炭から瀝青炭へと炭化が進むに従つて，発熱量と固定炭素は増大するのであるが，第4図 a では発熱量と固定炭素は反比例の関係にある。高崎炭のこのよう

第1表 高崎炭田本層炭および上層炭の工業分析・元素分析結果

| 炭層名 | 炭柱番号 | 炭鉱名 | 工業分析 水分 (%) | 灰分 (%) | 揮発分 (%) | 固定炭素 (%) | 発熱量 (kcal/kg) | 無水無灰基*における 固定炭素 (%) | 発熱量 (kcal/kg) | JIS石炭分類 | 元素分析 無水無灰基*における 炭素 (%) | 水素 (%) | 酸素 (%) | 硫黄 (%) | 窒素 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 本層 | 2 | 報国 | 13.72 | 32.00 | 32.85 | 21.43 | 3,610 | 41.56 | 6,980 | $F_1$ | 68.86 | 6.54 | 22.44 | 1.28 | 0.88 |
| | 3 | 相水 | 13.20 | 25.40 | 35.81 | 25.59 | 4,096 | 43.11 | 6,850 | $F_1$ | 68.15 | 6.54 | 23.30 | 1.16 | 0.85 |
| | 4 | 湯沢 | 14.78 | 22.40 | 36.48 | 26.34 | 4,125 | 43.17 | 6,760 | $F_2$ | 69.98 | 6.18 | 21.98 | 1.11 | 0.75 |
| | 5 | 蓮井 | 15.08 | 18.00 | 39.81 | 27.11 | 4,511 | 41.41 | 6,890 | $F_1$ | 68.47 | 5.90 | 23.64 | 1.14 | 0.85 |
| | 6 | 上毛 | 12.51 | 11.00 | 43.92 | 32.57 | 5,096 | 43.08 | 6,740 | $F_2$ | 67.24 | 6.17 | 24.48 | 1.26 | 0.85 |
| | 7 | 高崎 | 11.02 | 11.00 | 45.99 | 31.99 | 5,289 | 41.50 | 6,860 | $F_1$ | 68.93 | 5.85 | 23.49 | 1.09 | 0.64 |
| | 8 | 太平 | 13.59 | 13.60 | 42.72 | 30.09 | 4,899 | 41.95 | 6,830 | $F_1$ | 69.03 | 5.22 | 23.76 | 1.15 | 0.84 |
| | 9 | 興亜 | 8.35 | 16.00 | 45.16 | 30.49 | 5,094 | 41.00 | 6,850 | $F_1$ | 67.83 | 6.01 | 24.02 | 1.18 | 0.96 |
| | 10 | 青木 | 13.16 | 16.50 | 41.22 | 29.12 | 4,610 | 42.20 | 6,680 | $F_2$ | 67.44 | 5.83 | 24.76 | 1.23 | 0.74 |
| | 11 | 金井 | 11.56 | 15.80 | 43.38 | 29.26 | 4,953 | 41.00 | 6,940 | $F_1$ | 68.27 | 5.92 | 23.88 | 1.17 | 0.76 |
| | 12 | 長坂 | 10.55 | 18.70 | 42.29 | 28.46 | 4,681 | 41.10 | 6,760 | $F_2$ | 68.45 | 5.71 | 23.77 | 1.40 | 0.67 |
| | 13 | 赤岩 | 14.83 | 14.00 | 41.65 | 29.52 | 4,672 | 42.15 | 6,670 | $F_2$ | 67.21 | 5.72 | 25.14 | 1.18 | 0.75 |
| 上層 | 15 | 松井 | 11.75 | 14.39 | 43.33 | 30.53 | 4,781 | 41.98 | 6,580 | $F_2$ | 68.90 | 6.07 | 23.18 | 1.16 | 0.69 |
| | 16 | 蛇場見 | 14.15 | 13.16 | 43.08 | 29.61 | 4,621 | 41.33 | 6,450 | $F_2$ | 67.93 | 5.14 | 24.87 | 1.43 | 0.63 |

* 無水無灰基＝100－水分－灰分×灰分補正率




| 番号 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 炭鉱名 | 報国 | 相水 | 湯沢 | 蓮井 | 上毛 | 高崎 | 太平 | 興亜 | 青木 | 金井 | 長坂 | 赤岩 |

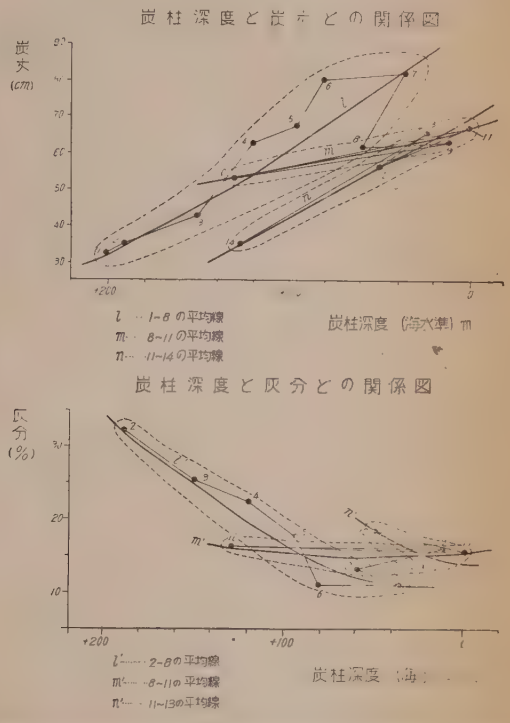
第4図 a 発熱量と固定炭素との関係図
b 発熱量と炭素との関係図
c 発熱量と水素との関係図

な発熱量と固定炭素との関係は，炭化度の相異に基づくのではなくて，石炭組織成分の含有割合が異なることに起因している（**6.3** 参照）。

## 5. 炭柱深度と炭丈および灰分との関係

第5図a，bは本層炭についての炭柱深度と炭丈および灰分との関係図である。

第5図において隣接炭鉱の炭柱番号を結んだ直線（2—3，3—4……等）は，調査範囲内においては炭柱深度が増大するに従つて炭丈は増大し，灰分は反対に減少する傾向がある。たゞし第5図bにおける8—9線は例外である。

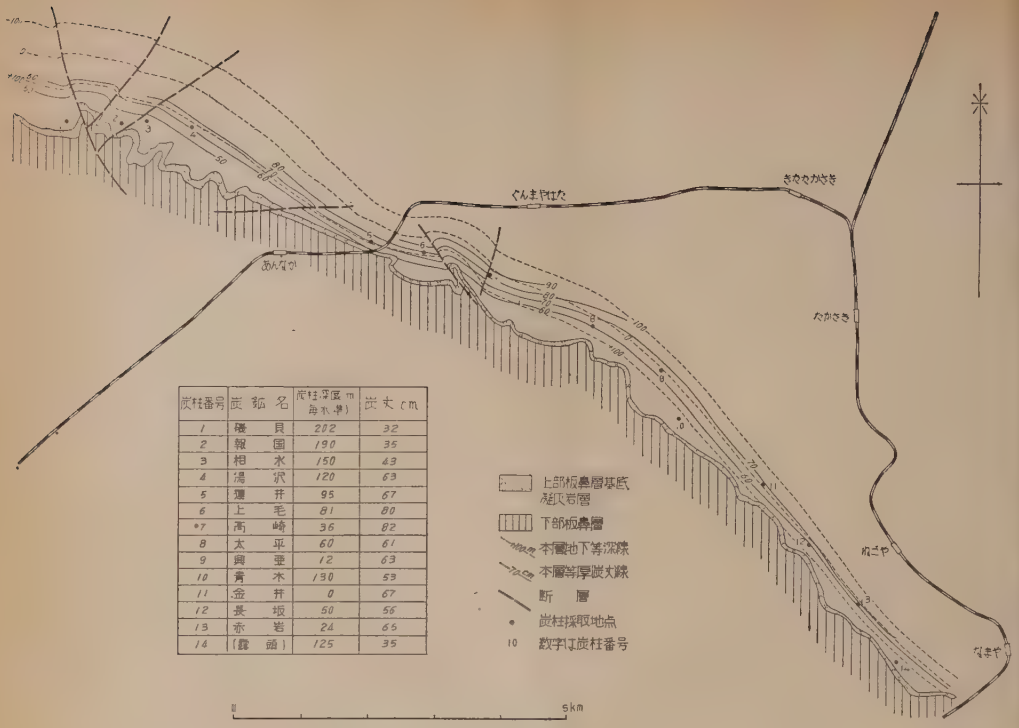



| 番号 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 炭鉱名 | 磯貝 | 報国 | 相水 | 湯沢 | 蓮井 | 上毛 | 高崎 | 太平 | 興亜 | 青木 | 金井 | 長坂 | 赤岩 |

第 5 図

第5図aを基として本層炭の等炭丈線図を求めると第6図の通りである。たゞし磯貝—太平両炭鉱間は，l 線，太平—金井両炭鉱間はm線，金井—赤岩両炭鉱間はn線をそれぞれ利用した。

第5図において明らかなように，磯貝・赤岩両炭鉱間における炭層深部の未開発地域には，炭丈80～90cm の炭層の発達することが推測される。また磯貝炭鉱の北西方および赤岩炭鉱の南東方にある2つの地域においては，本層の露頭では，炭丈30～35cm の薄層であるが，深部においては磯貝—赤岩間の深部におけると同様に，より厚い炭層の発達することが期待されるであろう。




| 炭柱番号 | 炭 鉱 名 | 炭柱深度 m (坑口準) | 炭丈 cm |
|---|---|---|---|
| 1 | 磯 貝 | 202 | 32 |
| 2 | 報 国 | 190 | 35 |
| 3 | 相 水 | 150 | 43 |
| 4 | 湯 沢 | 120 | 63 |
| 5 | 蓮 井 | 95 | 67 |
| 6 | 上 毛 | 81 | 80 |
| *7 | 高 崎 | 36 | 82 |
| 8 | 太 平 | 60 | 61 |
| 9 | 興 亜 | 12 | 63 |
| 10 | 青 木 | 130 | 53 |
| 11 | 金 井 | 0 | 67 |
| 12 | 長 坂 | 50 | 56 |
| 13 | 赤 岩 | 24 | 65 |
| 14 | (露 頭) | 125 | 35 |

第6図 高崎炭田本層等厚(炭丈)線図

## 6. 高崎炭の石炭組織

### 6.1 石炭組織の顕微鏡による観察結果

本層炭および上層炭の石炭組織の顕微鏡による観察結果は次のようである。たゞし石炭組織の分類は，石炭組織研究会で決めたものによつた。

(1) ビトリツト

ビトリツトには細胞組織の認められないコリニツトと細胞組織の認められるテリニツトがある。テリニツトは細胞孔がほとんど腐朽菌核で満されているスクレロビトリニツトである。またしばしば炭層中にみうけられる樹炭は針葉樹の炭化したものである（図版1～4参照）。

(2) クラリツト

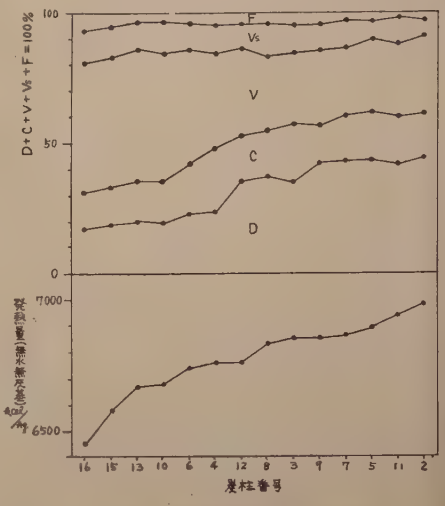
クラリツトにはビトリニツトを基地として，これにクチニツト，少量の粘土鉱物およびレジニツトの入り込んだものが多い（図版5，6参照）。

(3) ドリツト

ドリツトにはデグラデイニツトを基地として，これに粘土鉱物・レジニツトおよびスクレロチニツトの入り込んだものが多く，しばしば微小な黄鉄鉱の入り込んだものもある（図版7参照）。

(4) フジツト

フジツトはほとんどセミフジニツトからなり，ビト




D：ドリツト，C：クラリツト，V：ビトリツト，
Vs：スクレロビトリツト，F：セミフジツト

| 炭柱番号 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 15 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 炭鉱名 | 報国 | 相水 | 湯沢 | 蓮井 | 上毛 | 高崎 | 太平 | 興亜 | 青木 | 金井 | 長坂 | 赤岩 | 松 | 長 |

第7図 石炭組織成分と発熱量との関係図

ツトの周辺部がセミフジニット化したものが多い（図版8参照）

### 6.2　石炭組織分析

本層および上層炭の石炭組織分析結果は第2表の通りである。

第2表　高崎炭田本層および上層炭の組織分析結果

| 炭層名 | 炭柱番号 | 炭鉱名 | ドリット (%) | クラリット (%) | ビトリット コリニット (%) | ビトリット スクレロビトリニット (%) | フジット セミフジニット (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 本層 | 2 | 報国 | 44.2 | 17.0 | 29.5 | 6.3 | 3.0 |
| | 3 | 相水 | 35.3 | 22.3 | 26.8 | 10.3 | 5.3 |
| | 4 | 湯沢 | 23.8 | 24.2 | 27.1 | 9.9 | 5.1 |
| | 5 | 蓮井 | 43.5 | 18.3 | 27.7 | 6.7 | 3.8 |
| | 6 | 上毛 | 23.0 | 19.1 | 43.4 | 10.2 | 4.3 |
| | 7 | 高崎 | 43.0 | 17.4 | 25.5 | 10.6 | 3.5 |
| | 8 | 太平 | 37.3 | 17.2 | 28.6 | 12.4 | 4.5 |
| | 9 | 興亜 | 42.6 | 13.8 | 28.8 | 9.7 | 5.1 |
| | 10 | 青木 | 19.5 | 26.0 | 49.0 | 11.6 | 3.9 |
| | 11 | 金井 | 41.7 | 18.3 | 33.7 | 9.7 | 2.3 |
| | 12 | 長坂 | 35.6 | 16.7 | 31.0 | 9.3 | 4.2 |
| | 13 | 赤岩 | 20.3 | 15.2 | 50.5 | 10.2 | 3.8 |
| 上層 | 15 | 松井 | 19.1 | 13.4 | 50.5 | 11.6 | 5.4 |
| | 16 | 蛇場見 | 17.4 | 13.6 | 49.5 | 12.5 | 7.0 |

表から明らかなようにコリニットは26.8～50.5%で最も多く，ついでドリットの17.4～44.2%，クラリットの13.4～26.0%，スクレロビトリニットの6.3～12.5%およびセミフジニットの2.3～7.0%の順となつている

本層炭は上層炭に比較して，ドリットとクラリットの含有量が多く，したがつて他の成分の含有量が反対に少ない。

### 6.3　石炭組織成分と発熱量との関係

第1，2表から石炭組織成分と発熱量（無水無灰基）との関係を求めると第7図のようである。

第7図において発熱量が増大するにしたがつてドリット量は増大し，コリニット量は反対に減少する傾向が認められ，他の成分についてはドリットやコリニットのような顕著な量的変化は認められない。したがつてドリットはコリニットに比較して発熱量が多いことになる。また4.2で述べたように，発熱量の多い石炭は揮発分・炭素および水素も多い

一方クラリットは顕微鏡下ではドリットとコリニットとの中間的なものであり，またフジットとスクレロチニットは不活性物質で光学的にもほとんど同一である

以上のことから，ドリットは発熱量・揮発分・炭素および水素が最も多く，ついでクラリット，コリニット，スクレロビトリニットおよびセミフジニットの順である

## 7.　結　語

今回筆者が明らかにすることができた，おもな事項を要約すれば次の通りである。

(1)　本層炭および上層炭は一般に灰分の少ないいわゆる木質亜炭で，本層炭は褐炭$F_1$および$F_2$に，上層炭は褐炭$F_2$に属する。

(2)　本層炭および上層炭の石炭組織分析結果は次のようである。

| 炭層名 ＼ 組織成分 | ドリット (%) | クラリット (%) | ビトリット コリニット (%) | ビトリット スクレロビトリニット (%) | フジット セミフジニット (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| 本層 | 19.5～44.2 | 13.8～26.0 | 26.8～50.5 | 6.3～12.4 | 3.0～5.3 |
| 上層 | 17.4～19.1 | 13.4～13.6 | 49.5～50.5 | 11.6～12.5 | 5.4～7.0 |

両炭層の石炭にはフジニットが認められなくて，スクレロビトリニットとセミフジニット（両者合計して10～20%）が認められることは，高崎炭の特徴であろう

(3)　ドリットは最も発熱量が高く，また最も揮発分・炭素および水素に富み，ついでクラリット，コリニット，スクレロビトリニットおよびセミフジニットの順である。

(4)　今回の調査範囲においては，本層炭は炭層深度が増大するに従つて炭丈は増大し，灰分は反対に減少する傾向がある。したがつて炭層深部の未開発地域においては，より厚い炭層（本層）がある程度発達するものと推測される。　（昭和28年11月調査）

## 文　献


1）一杉武治・佐々木実：留萌炭田大和田地区地質・炭質調査報告，地質調査所，1951年調査，未発表

2）燃料協会石炭組織研究会：日本炭の石炭組織成分分類，燃料協会誌，Vol. 36, No. 360, 1957

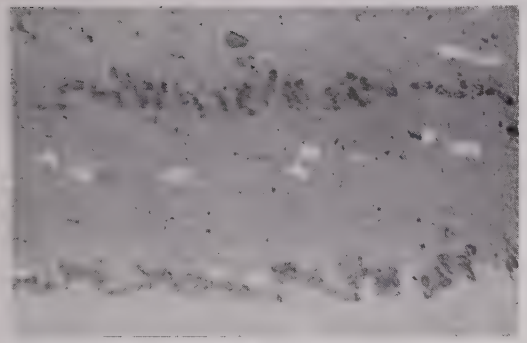
3）佐々木実・宮下美智夫：常磐炭田調査報告，第4編炭質調査報告，地質調査所，1957

4）丹野春夫：石炭組織成分の物理化学的性質について（其の3），炭研，Vol. 1, No. 4, 1950

5) 渡辺新六外2名：高崎炭田高崎地区調査報告，地質調査所炭田調査会報告，1946年調査，未発表

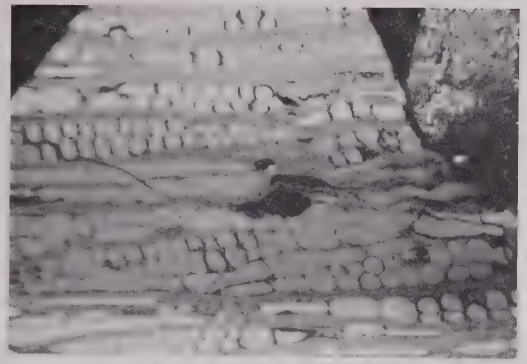
6) 渡辺新六・中村顕二：高崎炭田安中地区調査報告，地質調査所炭田調査会報告，1947年調査，未発表

図版1　高崎炭田本層炭および上層炭の顕微鏡写真



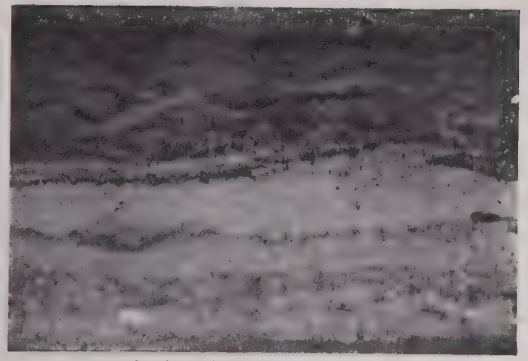
a.　テリニット（針葉樹炭）
灰白色部：ビトリニット
黒 色 部：年輪
粒状白色部：菌核　　（×200 油浸）

b.　テリニット（針葉樹炭）
灰白色部：ビトリニット
線状黒色部：柾目
粒状黒色部：髄線仮導管　　（×200 油浸）

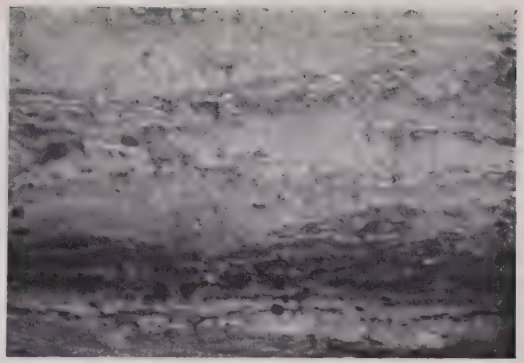


c.　スクレロビトリニット
菌核は細胞組織の構造に支配されて6角状（白色）
を呈し，細胞孔を満たしている
（×200　油浸）

d.　スクレロビトリニット
灰白色部：ビトリニット
丸味を帯びた白色部：菌核
（×200　油浸）



e. クチクレンクラリット
灰白色部：ビトリニット
縫合状黒線：クチニット
粒状黒色部：粘土鉱物　（×200　油浸）



f. クラリット
灰白色部：ビトリニット
帯状暗灰色部：レジニット
粒状黒色部：粘土鉱物　（×200　油浸）

g. セミフジニット
上過半部：セミフジニット
黒色部：細胞孔
下　部：ビトリニット　（×200　油浸）

h. ドリット
灰白色部：デグラディニット
白色部：スクレロチニット
楕円状灰白色：レジニット
大きな楕円状黒色部：研磨孔　（×200　油浸）

# 概　報

553.311：550.82 (524)

## 北海道勇払郡穂別含チタン砂鉄鉱床試錐調査報告

野口　勝　　中川 忠夫

### 1. 緒　言

昭和31年7～8月にわたり28日間，当所事業計画に基づき北海道勇払郡穂別村稲里地内の含チタン砂鉄鉱床について試錐調査を行つた。

本試錐調査は29年7月に北海道支所梅本悟によつて行われた地質調査，および31年5月に梅本ならびに中川によつて行われた試錐位置選定の結果に基づき，含チタン砂鉄層の傾斜延長を確かめ，これにより鉱量の増加を計る目的で実施した。コアー鑑定は北海道支所松村明によつて行われた。

調査実施にあたつては穂別村役場から種々の便宜を与えられた。深く感謝の意を表する

### 2. 地質鉱床概況

鉱床附近は中生代白堊紀層最上部にあたる，函渕砂岩層ならびにその下位の穂別泥岩層が逆転構造をもつて発達し，一般走向N40°W，傾斜50°Eを示す。鉱床は函渕砂岩中に層理が整合に胚胎する含チタン砂鉄鉱層で，3カ所の露頭が確認され，また中間の沢に転石が多くみられる。このうちで南部の第1露頭が規模最も大きく，約1mの中石を距てて上下2層に分かれ，なおその他の薄い夾みを含めての総体の厚さは約6mに達する。それより約200m距てた第2露頭では，厚さ約2.5mとなり，さらに約500m距てた第3露頭では50cm内外に緊縮する。なお鉱層はほとんど擾乱を受けていない。

鉱石は堅硬緻密，かつ各部分とも品位はほゞ一様で．Fe 45％内外，$TiO_2$ 12～13％を示す。

今回の調査においては第1露頭から水平距離約52mを距てた上盤側の地点で，1カ所垂直試錐を実施し，下部の状況を探査した。地質鉱床に関する詳細な報告は，文献1に掲載されている。

### 3. 掘進状況

使用機械は RL 150型試錐機・ピストンポンプ・久保田5HP石油発動機を使用した。

試錐場所は部落から2.5kmの村有林の未開地で，樹木の伐採，道路，橋等の改修および補修，運搬等で調査日数の15日間を費した。

試錐地点は沢の中間で，山4間×2間を崩して地均し，機械据付は4寸角材を使用し，発動機は5寸角材を2段に組み盛土，玉石で固め振動を防止した。試錐櫓は12尺，末口4寸ものを立て足場を一段に設け使用した。口切は120 m/m メタルクラウンを使用して掘進した。0.50mで表土より礫混り砂に変り，1.50mから7.90mまでは風化した砂岩で，その中間に表土から1.50mまで3½吋のドライブパイプを挿入した。ドライブの下部0.50mをセメントで固めて，2.00mより75m/mにおとした。7.90～23.15mまでは青灰色細粒質砂岩で，この間13.00m附近から湧水があり，湧水量は60ℓ/mを示した。23.15mから26.50mまでは灰緑色粗粒砂岩で，その上部の23.15～24.43mは石英および粘板岩の細礫を含み，固くショットを使用した。26.50～31.40mは青灰色の粗粒砂岩，31.40～34.45mは非常に硬い硬質粗粒砂岩で，ショットを使用した。そのうち32.90～34.45mは黄色で軟質になつた。34.45～39.00mは灰緑色砂岩，39.00～48.25mまでの厚さ9.25mの鉱体で，そのうち夾み4.30m，貧鉱3.30m，中鉱1.00m（推定品位20％上位），鉱0.65m（推定品位45～50％位），上鉱は露頭より非常に粒子が細かく色もコアーの方が青い。また中鉱は2カ所ばかり45°の亀裂面があり，その面に黄鉄鉱を挟んでいた。48.25～54.10mまでは青灰色粗粒砂岩で，貝化石を含む。54.10～55.90mは鉱体の下部の泥岩になつたので，試錐調査の目的を達したため掘止めとした。

本試錐は梅本悟の予定深度とほゞ同一であつた。コアーの採取率はほゞ70％で，とくに鉱体内は80％の採取率をあげた。

### 4. 結　果

以上の結果から今後第2，第3露頭の傾斜延長を確認するため，少なくも3本の試錐調査を必要とする。

### 文　献

1）地下資源開発審議会鉱山部会：未利用鉄資源，第1輯，1954

553.311 : 550.85 (521.11)

## 青森県天間林地方砂鉄鉱床調査報告

宮本 弘道　室住 正義　伊藤 吉助

この報告は，青森県上北郡天間林村底田地内から同県三戸郡戸来村羽井内地内に及ぶ地域の砂鉄層群について，昭和29年6月に地質鉱床調査・物理探査および試錐を実施した総合報告である。

調査地域は，第三紀層と推定される地層・洪積層・沖積層および安山岩類からなる。

鉱床は，天間林附近では下部洪積層および上部第三紀層中に，戸来附近では中新統に属する地層中に胚胎する。

下部洪積層中には，相当多数の砂鉄層が散在するが，栗の木沢のものが唯一のまとまった砂鉄層として確認した。その規模は，N60°Eの方向に延長約 40 m，厚さは 0.75～1.1m，水平南北方向に約 200m 以上，走向は N 20°E，傾斜はE20～30° を示す。

天間林附近の上部第三紀層（浜田統）中の砂鉄鉱床は，栗の木沢を北限とし，南は倉岡に至る地帯に断続露出する。走向はN 6～25°E，傾斜はEないしWに60～80° を示す。その厚さは最大 8 m以上に及ぶが，一般に 1 ～ 2 mである。

戸来附近のものは，中新統の田の沢統中に胚胎し，主として黒色砂鉄層からなる。

本文中に各露頭とその周辺および坑内状況を詳述している。

鉱石は，第三紀層中のものが洪積紀中のものより細粒であり，戸来附近のものが，そのうちでも細粒である。

鉱石鉱物は，主として磁鉄鉱・赤鉄鉱・チタン鉄鉱・褐鉄鉱等からなり，ほかに石英・菱鉄鉱・紫蘇輝石・普通輝石・角閃石等を伴なう。洪積層中の磁鉄鉱は著しく赤鉄鉱化作用を受けている。

チタン鉄鉱はほとんど単体で，分析によると，TiO 0.40～17.80 %である。

Fe は total Fe で 8.00～60.10 %で，脈石としては石英が大半を占める ($SiO_2$ 1.60～13.88 %)。

砂鉄の起原は，上部第三紀層中のものは，第三紀初期の生成になる安山岩類ないし凝灰質岩であり，洪積統中のものは，凝灰岩層にあると考えられる。

物理探鉱の結果，底田一倉岡露頭間の含砂鉄層の潜在範囲が明らかになり，その両側にも若干の砂鉄層が推知された。

それらから，3 カ所の試錐を実施し，それぞれ厚さ 1 m前後の中品位鉱体を確認した。　（抄録：岸本）

553.311 : 550.85 (521.11)

## 青森県田名部・野牛地域砂鉄鉱床調査報告

宮本 弘道　丸山 修司

この調査は未利用鉄資源開発調査の一環として昭和31年5月および10月に実施したもので，青森県下北郡田名部町および東通村地内の東西約 20 km，南北約 10 km の範囲の山砂鉄を対象としたものである

調査地域の東方，尻屋崎附近には古生層が露出し，西方，田名部附近には恐山（870m）の新期火山岩類が分布し，この間には主として淡黄褐色ないし暗灰色，中～細粒砂層からなる洪積層が広く発達している。この洪積層中には偽層が著しく，しばしば礫・粘土を混え，砂鉄鉱床を賦存する。

砂鉄鉱床の賦存地は大別して，岩屋台地，母衣部南方台地・野牛沼周辺台地・稲崎台地・ビツケ川河口附近・関根納屋・出戸附近および早掛沼周辺の 11 地区である。

鉱石は磁鉄鉱・赤鉄鉱およびチタン鉄鉱からなるが，粒度は比較的粗い（100 mesh 以上）。

鉱石を検鏡すると磁鉄鉱の大部分は単体で，その一部がマータイト化するものもあり，黄鉄鉱の細粒を僅かに包有するものもある。また赤鉄鉱との離溶構造を示す磁鉄鉱は比較的多くみられ，これとは反対にチタン鉄鉱との離溶構造を示す磁鉄鉱は少ない。本地域内にはチタン鉄鉱の単体はきわめて少ない。さらにまた一部の野牛地区の砂鉄層では褐鉄鉱が砂粒を被覆し，または砂粒の間を充填している。このような場合には化学分析による鉄品位と比較して砂鉄精鉱の実収率が低い。

砂粒を構成する鉱物としては上記の金属鉱物のほか，石英・紫蘇輝石・普通輝石・斜長石および角閃石などがあり，砂礫粒を構成するものとしては石英粗面岩・石英安山岩・砂岩・チャート・粘板岩および安山岩などの岩

からなるものもある。

おもな砂鉄層賦存地区である岩屋台地・母衣部南方台地・野牛沼周辺台地・野牛西方台地・稲崎台地および関ノ内屋・出戸附近の予想埋蔵鉱量は総計1,500万t以上（平均見込品位 Fe 12～13％以上）と算出される。これらの砂鉄の強磁性部中の $TiO_2$ 含有量は10％以下，Pは0.03％以下で，$V_2O_5$ は0.30％以上を示す。

本地域内の砂鉄鉱床のうち，鹿橋地区以上の他の地区については，まだ精査が実施されていないので，前述した有望地区について精査を実施する必要がある。

553.311：550.85 (521.71)

## 三重県名張周辺阿山地区チタン砂鉄鉱床調査報告

大塚　寅雄

本調査は未利用鉄資源開発計画の一環として実施されたものである。

東海地方においては内帯地域に分布する領家コンプレックスの一部に，基性深成岩，特に斑糲岩を起源とするイルメナイト鉱床がある。

この代表的な名張鉱山を中心として三重県伊賀地方に，数種の鉱床が散在する。

本報告は，その一部である上野市北部および阿山地内の鉱床調査の結果を示すものである

鉱床は，主として斑糲岩および迸入片麻岩に由来する漂砂鉱床および原地残留鉱床からなる。漂砂鉱床は主として調査地域の東部に発達し，これを主対象として精査したものである。

漂砂鉱床は一般に低品位鉱床で，そのうち良好な部分を挙げると，平均 $TiO_2$ 0.8％のもの97万tである

概査した西部地域には，斑糲岩の周辺に残留鉱床が胚胎しかなり有望である　　（抄録：岸本）

553.493：550.85 (521.71)

## 三重県名張市上比奈知附近のモナズ石砂概査報告

安斎俊男　土井啓司

### 1. 緒　言

昭和30年10月17日から24日まで，三重県名張市上比奈知附近のモナズ石砂の概査を行つたので報告する

### 2. 位　置

三重県名張市，上比奈知―奈垣―羽根―長瀬を結ぶ地域で，近鉄名張駅の東方5km，バス上比奈知下車，南方一帯である

### 3. 地　質

この地域の地質は領家変成岩に属する黒雲母片麻岩および黒雲母花崗岩からなる。

片麻岩は地域の大部分を占めるもので一般に片理は著しくない。花崗岩はこれをほとんど水平に押し上げるような形で存在し，谷の底部に露出する。名張川の底部および羽根部落北方にある西方に開いた2本の谷の底部に花崗岩の顕著な露出がある

片麻岩と花崗岩の境界には，緩やかな凹凸があり，花崗岩の一部は岩脈状に片麻岩を貫ぬいているようである。

両者の境界面または境界面に近い片麻岩中に小ペグマタイトが多く存在する。これらは通常レンズ状をなし，長さ1m以下のものが普通である

羽根部落の北東1.5kmには，この地域内の唯一の大型ペグマタイトがある　このペグマタイトはかつて珪石鉱床として採掘されたことがあり，現在は採掘跡が池になっていて詳細は明らかではないが，レンズ状または岩状を呈するもので，延びの方向はN70°W，長さ約50m，幅10m位の主鉱体と，その北側に平行して北に急斜する脈状の小ペグマタイトが認められる。これらは石英を主とし，正長石を混え，黒雲母・ざくろ石などを随伴する。

### 4. モナズ砂

前記のペグマタイト珪石掘跡から西方に開いた沢と，

この南側に平行しているコエンド沢，両者が合流して源太橋に至る間，また，羽根部落東方および南方の小沢に流れる幅1m程度の小流の底の砂を選り分けると，磁鉄鉱・ざくろ石のほか，少量のモナズ石・ジルコン粒を得る．

第1図（印刷略）に示した③→⑳の各個所のパンニングの結果は次の通りである．

| No. | 磁鉄鉱 | ざくろ石 | モナズ石 | ジルコン |
|---|---|---|---|---|
| 3 | | | × | × |
| 4 | | | △ | × |
| 5 | | | × | × |
| 6 | | × | × | × |
| 7 | | | × | |
| 8 | | × | × | |
| 9 | | | | |
| 10 | | | | |
| 11 | | | | |
| 12 | | × | × | |
| 13 | | | | |
| 14 | | × | × | × |
| 15 | | △ | × | |
| 16 | | | | |
| 17 | | △ | | |
| 18 | | × | | |
| 19 | | × | | |
| 20 | | | × | × |

○：多　△：少　×：極少

すなわち，磁鉄鉱はほとんど常に存在し，ざくろ石がこれに次ぐが，量的には少ない．モナズ石はざくろ石の存在する箇所に大体一致して存在するが，きわめて微量である．モナズ石量は原砂約400 ccに対して数粒，多い場合で10数粒程度であつた．

### 5. 放射能

当地域内の片麻岩・花崗岩・ペグマタイトおよびモナズ砂に対する放射能測定（フィリップス小型サイメーター。地質調査所東京分室における常数c/minを露頭または試料に接着して3分間測定）の結果は，30～40 c/minであつて，顕著な異常は認められない．

### 6. モナズ石砂の量

当地域におけるモナズ石を含む砂は，いずれも水田を流れる小川の底にあるもので，川幅1m内外，川底砂の厚さは数10 cm程度が普通である．

水田下の状況を知るため羽根部落附近で試掘を行つた結果によれば，水田下の砂は陶汰不充分のためきわめて粘土に富み，地表下約1m附近から粗粒の花崗岩分解に移行する．

これらの部分では，通常の選別ではモナズ石砂・ざくろ石砂を採取し得なかつた．

モナズ石を若干量含む砂が，小川の底の部分に限られるとすれば，この地域のこの種の砂の量はあまり大きいものではない．

### 7. 結　言

この地域の小川の砂は少量のモナズ石粒を含むものであるが，品位においても，量においても決して顕著なものでなく，とくに注目に値するものとは考えられない．

553.5：550.8 (521.11)

## 青森県南津軽郡碇ケ関村建築石材石調査報告

奥海　靖

### 1. 緒　言

青森県商工部から昭和31年1月14日附青商第64号をもつて，津軽石建材工業所が企業化を希望する，南津軽郡碇ケ関村国有林地内の建築石材（主用途：吸音板，耐火天井板など）原石の岩質および賦存状況調査の依頼があつたので，2月28日現地を調査した。こゝにその結果を報告する．

### 2. 区域および交通

区域は青森県南津軽郡碇ケ関村の南隅にあたり，奥本線津軽湯の沢駅の南南東，直距1.8 kmの386 m高を中心とし，北は遠部沢，西は羽州街道，南は相乗沢東は386 m高地の東方約300 mの点を通る北東—南西をもつて劃される面積約2 km²の範囲である．

予定採掘現場は奥羽本線津軽湯の沢駅の南方，直距1.7 km，相乗沢の北側山腹にあり，これに至るには次径路による．

奥羽本線津軽湯の沢駅　1.8 km（羽州街道）　相乗沢　200 m　林道（相乗沢）　現場

### 3. 地　　形

く域内の地形はその西縁にあたる羽州街道地並は高距
～210 mで東方に高く，もつとも高い所では高距400
である。山腹斜面は急峻で，予定採掘現場附近は露天
に適する地形を呈する。

### 4. 地　　質[1)]

近の地質層序は次の通りである。

| 時代 | | 地層 | |
|---|---|---|---|
| 第四紀 | 冲積世 | 冲積統 | 冲積層 |
| | 洪積世 | 洪積統 | 洪積層 |
| | 鮮新世 | 浜田統 | 唐竹層 |
| 第三紀 | | 田代統 | 省略 |
| | | 蒲の沢統 | 省略 |
| | 中新世 | 田の沢統 | 三つ目内層 |
| | | | 大鰐層 |
| | | | 遠部沢層 |
| | | | 二庄内層 |
| 古生代 | | | 古生層 |

以上のうち，区域内に分布するものは中新世，田の沢
うち，下部から遠部沢層および大鰐層の2層で，前
本区域の大部分を占め，後者は西縁，すなわち国道に
分布する。
地層の走向傾斜は岩質上明らかでないが大体走向N
E，傾斜 20°W で単斜構造を呈している。
た石英粗面岩は相乗沢の南側にはやゝ大規模に，そ
かでは小規模に分布し，遠部沢には変朽安山岩が
る。
区域内の模式地質柱状は第2図のようである。

### 5. 石材原石

#### 5.1 賦存状況

在建築石材（主用途：吸音板，耐火天井板など）と
稼行の対象と考えられるものは，遠部沢層の最上部
たる，白色塊状凝灰岩である。
岩は相乗沢で約100 mの層厚を有し，その北方400
近までは同質凝灰岩がみられるが，それ以北では
灰岩に移化するものと考えられる。

#### 5.2 岩　　質

第　1　図

| 地層名 | 沢名 | 柱状図 | 沢名 | 層厚 | 岩質 |
|---|---|---|---|---|---|
| 大鰐層 | 遠部沢 | | 相乗沢 | 100+ | 灰色角礫凝灰岩（石英粗面岩） |
| 遠部沢層 | | | | 100 | 白色塊状凝灰岩（石材） |
| | | | | 100 | 灰緑色凝灰岩 |
| | | | | 200+ | 緑色凝灰岩 |

第　2　図

この種，用途の石材としては次の條件が要求される
1. 軽いこと（本岩の比重 1.4～1.5 乾燥したもの）
2. なるべく白色であること
3. 均質，かつ微細空隙に富むこと
4. ある程度の強度を有すること（截断された石材が運搬などにより破損しないため）
5. 截断し易いこと

などであるが，本岩は以上の條件をほゞ備えているものである。

#### 5.3 埋蔵量

さしあたり稼行対象となる部分の予想埋蔵量は比重 1.4（常温で乾燥したもの）として，約200万t以上が見込まれる。

## 6. 結 言

1. このたび，津軽石材工業所が企業化を希望する建築石材（主用途：吸音，耐火天井板など）の原石は遠部沢層の最上部にあたる，白色塊状凝灰岩である。

2. 岩質はこの種用途の石材として要求される。諸條件をほぼ備えている

3. 稼行にあたり，予定採掘現場は地形上も適し，埋蔵量も充分と考えられる。

### 文 献

1）青 森 県：青森県の地下資源，1954

553.661 : 550.85 (521.73)

# 京都府天田・加佐郡下磁硫鉄鉱鉱床調査報告

宮本 弘道 徳蔵 勝治

この報告は，京都府天田郡下夜久野村在の御所・夜久野・天田の3鉱山および加佐郡大江町在の福知山鉱山の磁硫鉄鉱鉱床について昭和31年3月調査したものである。

本地域は，頁岩層および頁岩・砂岩互層からなる古期岩層（三畳紀層）と石英モンゾニ岩貫入体および段丘砂礫層からなる

鉱床は，前記三畳紀頁岩層中の一般にE～W走向の鉱脈群でNまたはSに50°以上傾斜するものである。

御所鉱山には，3鉱脈，夜久野鉱山に2脈，天田鉱山に2脈，福知山鉱山には8個の露頭が確認された。やけ程度のものが多く，その規模も小さくて延長 10 m を超えるもの，および幅1mに達するものはまれである。

そのうちでも，破砕角礫を伴なう場合は，石英脈合よりも概して規模が大きくて，稼行の対称としられるが，後者は稼行の対称とはなり難い。

母岩の変質としては，弱い珪化作用と黄鉄鉱化作認められる。

主要鉱石鉱物は磁硫鉄鉱・鉄閃亜鉛鉱で，黄銅鉱鉛鉱・黄鉄鉱・硫砒鉄鉱等を伴なうが，その量的なは個々の鉱床で若干の差が認められる。

各鉱山のうち，御所鉱山は鋼押が一応考えられる待薄であり，夜久野鉱山は磁硫鉄鉱としてはあまりできず，天田鉱山は若干走向方向に期待をもてる。し福知山鉱山附近が最も期待できる鉱床群であると確認された。 (抄録：

# Studies on the Elastic Wave Velocity in Clastic Rock

By

Shōzaburō Nagumo

This is the English report of the former one, which has been published in Japanese under the same title in the Bulletin of the Geological Survey of Japan, Vol. 8, No. 9, p. 27～56. As regards Figures and Tables, please refer to the above report.

## Part I. Effect of Water Content on Elastic Wave Velocity in Clastic Rock

### 1. Introduction

The effect of water content on the elastic wave velocity in clastic rock has been studied by many investigators : K. Iida[4)5)6)], D. S. Hughes[3)], J. E. White, R. L. Sengbush[15)] and others.

Some discrepancy in their results, however, shows us that the effect should be examined and explained in connection with texture, degree of lithification and physical property in clastic rock.

The examination of the effect on the bases of the physical property of clastic rock will lead us to a better understanding of velocity controlling factors, and undoubtedly promote the geological interpretation of seismic data.

The writer carried out some experiments on medium and coarse sandstone, whose elastic wave velocity ranges from about 2 km/sec to 4 km/sec, and on a few samples of shale.

### 2. Experimental procedure

Longitudinal wave velocity was measured by using ultra-sonic pulse method, which was pioneered by D. S. Hughes[2)] and developed by many others[7)10)12)]. The principle of our measuring apparatus is similar to those of the above investigators. A brief description of the block diagram and circuit diagram is presented in the Appendix I. $BaTiO_3$ disc of 30 mm in diameter and 4 mm in thickness were used for transmitter and receiver respectively. An example of photographic records is illustrated in Fig. 1.

The size of a rock specimen is about 5 cm in diameter and 5～8 cm long. In order to achieve water saturation, the dry specimen was placed in a metal box attached to a vacuum pump, which was run 1 hour at 0.002 atm. and then was immersed in distilled water which had been de-aerated in vacuum. Air was then slowly admitted, and the specimen was kept in water for 7 days.

Velocity variation was measured in the evaporation process at room temperature (about 25° C) and atmospheric pressure. After natural evaporation, specimen was dried by using infra-red ray, and then in an oven at 110° C for 2 hours.

### 3. Experimental results

The samples used in this experiments were described in Table 1.

Variation of longitudinal wave velocity with respect to water content in medium and coarse sandstone is illustrated in Fig. 2, and that in shale in Fig. 5 and Table 2. Relation between velocity and porosity in sandstone is illustrated in Fig. 4. In sandstone, the wave velocity-water content curve is generally composed of 2 components, namely, one increasing due to "pendicular stage" and the other decreasing due to the "funicular stage" which are discussed under **4**.

### 4. Discussion of results

Water in clastic rock is classified into crystalline, adsorbed, absorbed, contact moisture and free water according to its condition. The condition where free water exist is generally called "funicular stage", and the condition where contact moisture exist is called "pendicular stage". Among these waters, only free water and contact moisture are thought to affect the elastic property of clastic rock under the present experimental condition.

The process through which each water affects the elastic property may be classified into (1) mechanical process, which is the mechanical interaction between water and elastic constituent particles, and (2) chemical process, which involves complex chemical interaction between water and cementing materials. The latter process, as shown in the textbook of soil mechanics[9)13)], is so complex that the following discussion is limited to the former process. The mechanical effect of each water is examined by several models, F. Gassmann[1)] and T. Takahashi[14)].

1) Pendicular Stage

In the pendicular stage, capillary pressure results from contact moisture in the granular substance.

The capillary pressure was calculated for various particle sizes and tabulated in Table 3.

As regards constituent particles, the capillary pressure is equivalent to the external pressure. The effect of external pressure on the elastic property of granular substance has already been treated b T. Takahashi and Y. Satō[14]. The model, however, did not explain the high velocity in clastic roc under the atmospheric pressure. A modification was made on their theory to the case where the particle are bound at the contact plane. The description of the theory is presented in Appendix II.

The longitudinal wave velocity $V_p^*$ through the granular substance, where the particles ar bound at the contact plane, is

$$V_p^* = \sqrt{V_1^2 + V_0^2}$$

where

$$V_1^2 = 0.865 \left(\frac{n}{10}\right)^{2/3} \left(\frac{\rho^*}{\rho}\right)^{-2/9} \left(\frac{1}{\rho}\right)^{1/3} V_p^{4/3} P^{1/3}$$

$P = P_{01} + P_{02}$
$V_0$ : longitudinal wave velocity when $P=0$
$V_p$ : longitudinal wave velocity in the particle
$P_{01}$ : external pressure
$P_{02}$ : capillary pressure
$n$ : number of contact sphere
$\rho$ : density
$\rho^*$ : apparent density of the granular substance

Variation of the velocity with respect to the pressure is graphically illustrated in Fig. 1 c Appendix II, and is numerically tabulated in Table 4 for the pressure range 0-100 bar. By usin Tables 3 and 4, velocity increase due to capillary pressure can be found for both the various sizes an various velocity $V_0$. For example, when the velocity $V_0$ is 2.0～4.0 km/sec, velocity increase is onl 30 m/s～10 m/s in the case of particle size of 0.1 mm, and is 200m/s～100m/s in the case of particle siz of $1\times10^{-5}$ mm. Consequently, the velocity increase due to drying in sandstone, as seen in the left sid of Fig. 2, is due to capillary pressure in the matrix and cement.

No velocity increase was found in shale as it dried. The granular model of clay size does no fit for shale. This will be due to the property of shale which is likely to break into pieces with wate saturation. Dr. Iida's experiment on soft sediment did show velocity increase. This suggest the furthe study on the change of elastic property through lithification from soft sediment to shale.

2) Funicular Stage

In funicular stage, the free water play a role in the elastic property of rock through mechanica interaction with the constituent elastic particles. F. Gassmann[1] studied the effect of saturated water o the elastic property of porous medium. According to his paper, the relations of elastic constants betwee saturated and dry conditions are

$$k = \hat{k}\,\frac{\bar{k}+Q}{\hat{k}+Q}, \quad Q = \frac{\tilde{k}(\hat{k}-\bar{k})}{n(\hat{k}-\tilde{k})}$$

$$\mu = \bar{\mu},$$

$$\rho = \bar{\rho} + n$$

$$\bar{\rho} = \hat{\rho}(1-n),$$

where

$k$, $\bar{k}$ : bulk modulus of porous media, in saturated and dry, respectively
$\mu$, $\bar{\mu}$ : rigidity modulus of porous media, in saturated and dry, respectively
$\rho$, $\bar{\rho}$ : apparent density of porous media, in saturated and dry, respectively
$\hat{k}$, $\tilde{k}$ : bulk modulus of constituent material and water
$\hat{\rho}$ : density of constituent material
$n$ : porosity

The above relation between bulk modulus $k$ and $\bar{k}$ is graphically illustrated in Fig. 7. F. Gassmann assumed that rigidity of the framework does not change with water saturation. Instead o this assumption, we shall be able to assume that Poisson's ratio does not change with water saturation.

Under each assumption, wave velocity variation in water saturated condition was calculated, and is illustrated in Fig. 7 (in the case of $\sigma=\bar{\sigma}$) and in Fig. 8 (in the case of $\mu=\bar{\mu}$). Comparison of experimental data and these calculated values is tabulated in Table 5.

In this comparison, minimum velocity in the experiments corresponds to the velocity in the dry condition in F. Gassmann's theory, because the velocity in dry condition in his theory means the velocity in the framework. For sandstone, the calculated velocity increase in the saturated condition is about 50 % of the experimental results, assuming $\mu=\bar{\mu}$. However, assuming $\sigma=\bar{\sigma}=0.25$, the agreement between the calculated and the experimental value is very good.

The variation of Poisson's ratio with saturation will be tested in the future.

## 5. Summary and conclusion

Variation of longitudinal wave velocity with water content was measured for medium and coarse sandstone and shale specimens, which were obtained from sample cores of Paleogene coal bearing formation. The experimental results were examined by two models.

The factors which control the elastic property of rock with water saturation at room temperature and atmospheric pressure are (1) the elastic property of the framework itself, (2) internal pressure caused by capillary pressure in the matrix and cement, and (3) the mechanical interaction between elastic particles and free water.

The wave velocity—water content curve has two components, one increasing and the other decreasing with water content. The former is the effect of the mechanical interaction between the elastic particles and free water, and the latter is the effect of internal pressure in the matrix and cement.

Results for sandstone are as follows :

(1) The longitudinal wave velocity decreases greatly as saturation reduced from 100% to 20～30%. The velocity variation with saturation is controlled by the elastic property of framework and the interaction between the elastic particles and free water. The amount of this velocity variation in the saturated condition is explained very well by F. Gassmann's theory, if his assumption of rigidity invariant ($\mu=\bar{\mu}$) with saturation is replaced by the new assumption of Poisson's ratio invariant ($\sigma=\bar{\sigma}$).

(2) As the water content is reduced from 20～30 % to the dry condition, the longitudinal wave velocity increases again. This velocity variation is controlled by the internal pressure and the framework.

The amount of this velocity increase with drying is explained by capillary pressure in the matrix and cement in sandstone.

The result for shale is as follows :

(3) The wave velocity is nearly constant from 100 % to 30～40 % saturation and then decreases. Any velocity increase in a dry condition is too small to be measured.

The model for granular substances of clay size does not seem suitable to shale.

## Appendix I. Apparatus

A brief description of the apparatus is given with the block diagram (Fig. 1) and the circuit diagrams (Figs. 2, 3, 4).

## Appendix II. On the elastic property of granular substances where particles are bound at the contact plane

T. Takahashi and Y. Satō's theory[14] on the elastic property of granular substances is extended to the case where the particles are bound at the contact plane. Binding force between particles, which were taken into consideration, are

(1) binding force due to the external pressure,

(2) binding force due to the internal pressure caused by contact moisture,

(3) binding force due to cementing material.

Elastic wave velocity through dry clastic rock under atmospheric pressure will depend upon the latter two factors.

Elastic energy per unit volume is calculated by static stress-strain consideration. The elastic wave velocity is, then, obtained by using Takahashi—Satō's theory.

The longitudinal wave velocity $V_p^*$ through the granular substance, where particles are bound at the contact plane, becomes

$$V_p^*=\sqrt{V_1^2+V_0^2}$$

where

$$V_1^2 = 0.865\left(\frac{n}{10}\right)^{2/3}\left(\frac{\rho^*}{\rho}\right)^{-2/9}\left(\frac{1}{\rho}\right)^{1/3} V_p^{4/3} P^{1/3}$$

$P = P_{01} + P_{02}$

$V_0$ : longitudinal wave velocity when $P=0$

$V_p$ : longitudinal wave velocity of material of particle

$P_{01}$ : external pressure

$P_{02}$ : capillary pressure

$n$ : number of contacting spheres

$\rho$ : density of material of the particle

$\rho^*$ : apparent density of the granular substance

## Part II. Progressive Change of Elastic Property through Lithification in Sandstone

### 1. Introduction

As stated in Part I, information on the elastic properties such as the framework, porosity and internal pressure in sandy clastic rock can be obtained by analyzing the variation of longitudinal wave velocity with water content. The writer investigated the progressive change of elastic property through lithification in sandstone by applying this method to various sandy clastic rock.

As for the young sediment, the experiment was made on the soft siltstone in Pleistocene and the elastic property of soft sediment is examined in **2**.

Development of framework through lithification is studied with respect to the porosity in **3**, by separating the elastic wave velocity in the framework itself from the water content –velocity curve. From these data, progressive change of elastic property through lithification is examined in **4**. Based on these results, the writer discussed in **5** some problems on seismic prospecting concerning the method of the survey technique and that of interpretation.

### 2. Variation of elastic wave velocity with water content in siltstone

The core used in this experiment was taken from the sample cores in the Pleistocene formation of the Ishikari coal field. The density in water saturation is 1.81; the effective porosity is 47.3%; depth of sampling is 322 m.

The experiment was carried out by the same procedure as that of Part I, and the variation of longitudinal wave velocity with respect to water content is illustrated in Fig. 1. The curve for this high porous siltstone is very similar to the curves which were obtained in indurated sandstone.

Discussion of results :

(i) Velocity increase due to drying

Comparing the observed velocity increase due to drying with the calculated value (Table 1), which method is described in Part I, Appendix II, the velocity increase is thought to be caused by internal pressure in the matrix and cement.

(ii) Velocity in water saturated state

Comparing the observed velocity variation in a water saturated state with calculated value for various models, namely for F. Gassmann's porous model of $\sigma=\bar{\sigma}$ and $\mu=\bar{\mu}$, and for the mixture model, the observed velocity variation is quantitatively explained very well by F. Gassmann's model of $\mu=\bar{\mu}$ (Table 2). The assumption of Gassmann's model of $\sigma=\bar{\sigma}$ means that the rigidity $\mu$ of the porous medium increases in a water saturated state over that of the framework as the bulk modulus $k$ increases. While the assumption of Gassmann's model of $\mu=\bar{\mu}$ means that rigidity $\mu$ remains constant in a water saturated state in spite of increasing of bulk modulus. The variation of Poisson's ratio of the soft siltstone with water content is examined by taking into consideration the physical meaning of each assumption.

Poisson's ratio $\sigma$ is a function of $\mu/k$, $\sigma=(3-2\mu/k)/(6+2\mu/k)$, and the relation is illustrated in Fig. 2. Poisson's ratio of the framework of soft siltstone is about 0.2~0.3 and $\bar{\mu}/\bar{k}=0.6(\bar{\sigma}=0.25)$, according to Dr. Iida's experiment (1940). The bulk modulus of the framework $\bar{k}$ is rather small. In water saturated state, however, the bulk modulus $k$ of the rock increases because of interaction between particles and water. Therefore, $\bar{k}/k$ becomes very small. On the otherhand, rigidity $\mu$ remains constant under the assumption of $\mu=\bar{\mu}$. Therefore, $\mu/k$ in a saturated state becomes very small with the result that Poisson's ratio approaches 0.5. Comparison of the calculated values of mixture model with the observed values will agree with the above interpretation.

From these considerations, we conclude for the elasticity of high porous siltstone that (1)

F. Gassmann's porous model is suitable, (2) the rigidity in water saturated state is nearly the same as that of the framework, (3) Poisson's ratio in the water saturated state approach 0.5, while that of the framework is 0.2～0.3.

**3. Development of the framework with respect to porosity**

Because the variation of longitudinal wave velocity with water content is quantitatively explained very well by F. Gassmann's porous model, the elastic property of the framework can be separated from the velocity—water content curve; the minimum velocity on the curve is due to the elasticity of the framework. In order to investigate the development of the framework due to lithification, the longitudinal wave velocity in the framework was measured for many sandstone samples, which are given in Table 3. The longitudinal wave velocity in the framework with respect to porosity is illustrated in Fig. 3.

From this graph, we notice as a general tendency that the velocity in the framework becomes large as the porosity becomes small. From the precise view, however, the variation of the velocity in the framework at the same porosity is very wide especially when porosity becomes less 20%. The general tendency between velocity in the framework and porosity will be due to compaction and cementation. The wide variation in the less porous ranges, however, is due to both the texture of the rock and the quality of the cementing materials.

**4. Progressive change of elastic property through lithification in sandstone**

The longitudinal wave velocities in the saturated state and the framework are plotted with respect to porosity in Fig. 4. Curve (1) in the Fig. 4 shows the calculated velocity in the mixture model of elastic particles and water. Curve (2) shows the calculated velocity of the assumed mixture model when $\sigma=0.25$. The observed longitudinal wave velocity in the saturated condition is a little larger than curve (1) in the high porous region. As porosity decreases (50～30%), the observed velocity deviates upwards from curve (1). When porosity is less than about 15%, the velocity becomes larger than curve (2).

From curves and experimental data described in this report, progressive changes of the elastic property through lithification in sandstone is examined and schematically summarized in Table 4. For the very young sediment with porosity ranges about 100～50%, the elastic property is approximately determined by the mixture model of elastic particles and water.

The framework begins to develop in the porosity range of about 50～20%, but is still weak. Therefore, contribution of the framework in a saturated state to the bulk modulus is small; the main contribution coming from the mixture model; the rigidity remains nearly constant as that of the framework; and Poisson's ratio approach about 0.5. When lithification develops very much and porosity decreases less than 20%, the elastic property of the framework becomes very strong. In a water saturated state, both the bulk modulus and rigidity become large so that Poisson's ratio does not change with water content.

**5. Remarks on seismic prospecting**

The following remarks on seismic prospecting are derived from the above results.

(1) Elastic property of low velocity surface layer

By considering the elastic property of low velocity surface layer, particularly concerning the rigidity, it was remarked that many field techniques which aim at the reduction of surface ground roll should be controlled by the shear wave velocity distribution in the formation.

(2) On the reflection bed

From the physical view point, the reflection horizon is merely a boundary of acoustic impedance. The elastic wave velocity is mainly controlled by porosity and the framework. These factors have close relation with the classification and description of geological lithofacies. Therefore, the reflection bed should be correlated first to the lithofacies.

(3) On the correlation between seismic unit and stratigraphic units

Correlation procedure is schematically presented in Fig. 5. Correlation of velocity layer and reflection, refraction horizon to the stratigraphic unit should be studied with the stratigraphic analysis such as sand-shale ratio, iso-pack and other analysis.

**6. Summary and conclusion**

Progressive change of elastic property in sandy clastic rock was studied by carrying out experiments on the variation of the longitudinal wave velocity with water content.

As regards the elastic property of soft siltstone (porosity : 47.3%; the longitudinal wave velocity in the water saturation state : 1.54 km/sec) in a Pleistocene formation, results obtained are;

(1) The longitudinal wave velocity variation with water content is controlled by the

elastic property of framework, porosity and internal pressure. F. Gassmann's model of $\mu=$ seems to be suitable to such high porous siltstone.

(2) The longitudinal wave velocity in a saturated state mainly depends upon th mixture model of elastic particles and the water, and the velocity in a partially saturated stat decreases to the velocity in the framework.

(3) The shear wave velocity is determined by the elasticity of the framework, an the rigidity does not change with water content.

(4) Poisson's ratio in the saturated state is a little less0. 50.

As regards the development of the framework through lithification, results are;

(1) As a general tendency, the longitudinal wave velocity in the framework increase as the porosity decreases.

(2) When the porosity becomes less than about 15%, there seems to be no clos relation between porosity and the velocity in the framework.

Progressive changes of elastic properties in sandy clastic rock are summarized in Table 4.

Remarks on seismic prospecting are;

(1) Shear wave velocity should be carefully examined for controlling the surfac waves.

(2) Reflection bed should be correlated first to the lithofacies.

(3) A correlation procedure between seismic units and stratigraphic units is schematically illustrated in Fig. 5.

553.661.06：551.232：550.4(524)

# クナシリ島（千島列島）の Gorovnin 火山の Solfatara にみられるシリカゲルの生成問題について

S. I. Naboko & V. G. Silinichenko

小西　善治訳

クナシリ島（千島列島）の Gorovnin 火山のカルデラでは，新しい石英安山岩質の Cupola にみられる多数の Solfatara とともに，湖成堆積物が存在する Solfatara 地域に出会する。Gorovnin 火山のカルデラに水平に賦存する湖成堆積物には，割れ目系が発達するとともに，ドーム状に隆起している。Cupola 状隆起の大きさは，直径 60m 以下である。

熔岩の迸入は湖成堆積物を突き破っていないが，湖成堆積物を特異な型に持ちあげている。迸入物質は，こんにちにいたるまで冷却しないで，熱水現象または硫気現象の跡を残している。ドームの頂および斜面からはガスが放出されているが，その麓には，硫酸塩類を含む温泉が湧出している。ガスの温度は 98°，泉温は 82° である。迸入熔岩の組成は，隣接の内カルデラ

第1表　Solfatara およびカルデイラ湖のガスの凝縮物組成

| 成　分 | 凝縮物 (g/l) | Solfatara の水 (g/l) | カルデイラ湖のガス（重量%） |
|---|---|---|---|
| $H^+$ | 0.0004 | 0.0028 | $CO_2$—93.84 |
| $NH_4^+$ | 0.0015 | 0.0020 | $O_2$—0.00 |
| $Na^+$ | —— | 0.0271 | $H_2$—1.20 |
| $K^+$ | —— | 認められない | CO—0.00 |
| $Ca^{2+}$ | 0.0708 | 0.0564 | $CH_4$—1.74 |
| $Mg^{2+}$ | 0.0109 | 0.0122 | $N_2$—3.22 |
| $Fe^{2+}$ | 認められない | 0.0134 | |
| $Fe^{3+}$ | 0.0017 | 0.0093 | |
| $Al^{3+}$ | 認められない | 0.0304 | |
| | —— | —— | $\frac{He+N_2}{N_2+i}=0.02418$ |
| $Mn^{2+}$ | —— | 0.0001 | |
| 合　計 | 0.0853 | 0.1537 | $\frac{Ar}{N_2+i}=1.728$ |
| $Cl^-$ | 0.0133 | 0.0200 | |
| $SO_4^{2-}$ | 0.0748 | 0.5088 | |
| $HSO_4^-$ | 0.0019 | 0.0572 | |
| $HCO_3^-$ | —— | —— | |
| 合　計 | 0.0900 | 0.5860 | |
| $H_2SiO_3$ | 0.0102 | 0.1400 | |
| $HBO_2$ | 認められない | 認められない | |
| pH | 3.40 | 2.55 | |

* Набоко, С. И. и Сильниченко, В. Г.: Образование силикагеля на сольфатарах вулкана головнина на острове кунашир, Геохимия, No. 3, Академия Наук СССР, 1957

の新しい Cupola を構成する石英安山岩に近いようである。

Solfatara のガスおよびドームの麓の，カルデイラ湖底から放出されているガスおよび温泉水（人工的）凝縮物の組成からみると，迸人熔岩は，水蒸気・炭酸ガス・含S無水物・硫化水素少量であるが，亜塩素酸・水素・メタンを放出している。

凝縮物の乾燥残査のスペクトル解析結果は，次のようである。Sb—0.$n$%，Ag—0.000$n$%，Zn—0.$n$%，Be—0.00$n$%，Sr—0.0$n$% である。

噴気孔ガスが凝縮，溶解して形成された硫酸溶液は，湖成堆積物を飽和し，長期間にわたつて堆積物に作用するから，この種堆積物の造岩鉱物類は分解する。滞孔溶液の組成は凝縮物および水の組成に近いことが考えられる（第1表参照）。

弱膠結岩石類で代表される湖成堆積物は，主として安山岩組成の砕屑熔岩および微粒の粘土質粒子からなつているが，熱水の影響を受けている箇所では，分解し，珪酸に富む白色脆弱岩石に転移している。各地域では，緻密な皮殻面を破砕すると，その下部からは熱い珪酸ゲルの jelly 状塊がでてくる。

このような jelly 状塊の試料は，擦り合わせ式になつている栓付ガラスビンに入れられた。jelly 状塊は数時間経つと，chalk に類似した微細な乾燥細粉—珪酸ゲル—を形成する。乾燥シリカゲルの水の含量は52%であて，以前の珪酸 jelly 状ゲルの含水量に近いようである。シリカゲルの $SiO_2$ は 45.64%，$H_2O$ は 52.25% であつて，残余の成分は 2.11% である。このなかには $SO_3$，$R_2O_3$，$TiO_2$ が含まれている。

シリカゲルの $SiO_2$ と $H_2O$ との分子量比は 1：3.8 に相当している。

シリカゲルのスペクトル解析によつて，V—0.000$n$%，Cu—0.00$n$%，Zr—0.0$n$% が決定されている。

水の析出物質はまちまちである。温度 80° の場合には 46.95%，105° では 1.57%，120° では 0.42% である。

小ビンに採取された見掛上の乾燥シリカゲルをデシケータに入れて放置すると，容易に脱水できる。例えば，含燐無水物上に 24 時間放置された試料からば，48% の水が除去され，全部で3.87%の水分が残る。シリカゲルを乾燥器中に入れ，乾燥器の温度を 120° に保つてシリカゲルが一定の重量になるまで放置すると，水の含量は 3.73% になる。この値は，シリカゲルの水分の4%が Ultrapore の内表壁面に化学的に結合していることを確認した Eigmondi，Chukhrov のデータとよく一致している。Chukhrov はこの種の水を構造水と名付けている。

シリカゲルに含まれている若干量の水は，大気中に奪われ，飽和水蒸気の型となつて，ふたたび水に吸収される。吸収水の量は，シリカゲルの初成含量に比較して少ない。

120° で乾燥されたシリカゲルは，水蒸気を送るとふたゝび 13.99%の水分だけを吸収する。したがつて乾燥によつて，シリカゲルの構造の再配列が起こり，そのためにシリカゲルの親水性性質が変わつたことが明らかである。

原初形態の上述のシリカゲルはX線で認められる潜晶質を示している。80倍率の検鏡結果によれば，シリカゲルは，透明，等方質粒子（N＝1.437）であつて，そのなかには一層低屈析率を示す多数のカラスムギ粒状，円形包有物を含んでいる。含燐無水化物上で試料の脱水後でも，孔型態は保存されている。したがつて原孔は，吸蔵水で充塡されていたが，乾燥シリカゲルは，珪酸粒子によつて形成された骨組を保存し，その空孔は空気で充塡されていたことが考えられる。

このようにして上述のシリカゲルは次のように区分できる。（1）吸着水，その含量は周辺の空気の湿度によつて変わつてくる。（2）吸蔵水，この水は珪酸ゲルの離液（Syneresis）の結果として形成される。（3）構造水含量4%，温度 140° 以上になると遊離する。量的には蛋白石の含水量に対応する。Solfatara のシリカゲルが脱水されると，蛋白石の生成が誘導される。蛋白石がさらに“老化”されると石英へ転移する。類似の例としては Sheveluch 火山の

Karana Cupola に発達する Solfatara があげられる（第2表参照）。ここでは安山岩は完全に蛋白石化している。蛋白石にはX線解析によって，石英と β—クリストバル石が少量混和していることとが確認されている。

第2表　Sheveluch 火山の Solfataraに伴なう蛋白石のX線解析値

| Karana 蛋白石 | | 標　準　試　料 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 石　英 | | β—クリストバル石 | |
| I | $d_{\alpha}$ | I | $d_{\alpha}$ | I | $d_{\alpha}$ |
| 6 | 4.05 | — | — | | |
| 10 | 3.35 | 10 | 3.32 | | |
| 5 | 2.53 | — | — | 9 | 2.52 |
| 7 | 1.825 | 10 | 1.815 | | |
| 6 | 1.552 | 10 | 1.538 | | |
| 5 | 1.382 | 6 | 1,382 | 7 | 1.372 |

最長の d の値 4.05 は蛋白石に特徴的である。

火山の Solfatara 地域にみられる珪酸ゲルは，岩石の硫酸分解で生成される。Solfatara の硫化水素および硫気ガスは，空気および大気の水分に含まれている酸素の高分圧条件の下で酸化され，硫酸となり，岩石類が飽和される。熔岩および凝灰岩の造岩鉱物とガラスとは，硫酸作用を受けて造岩元素—珪素とチタンを除く—に分解し，遂次硫酸塩の形態で溶液に移行する。珪酸は遊離して，さらにゲルを形成する。このような珪酸の熱い jelly 状ゲルは，水を50%含み，移動して岩石の割れ目を充填する。シリカゲルが冷却・脱水されると蛋白石が形成される。このような蛋白石で充填された細脈は，Sheveluch Koshelev. およびカムチャッカおよび千島列島のその他の火山で度々みられる。Solfatara 状態にある火山の熔岩および凝灰岩の蛋白石化作用は，しばしば広大な地域を占め，ある程度の深さに及んでいる。

Solfatara の珪酸ゲルの生成過程，珪酸ゲルの脱水，蛋白石への転移，老化による石英への転化過程—は，火山地域の特色となつている。このような現象は，二次石英類の成因およびある種の石英脈の生成を解明するうえにおいて興味がある。

550.4 : 553.25 : 546.26 + 546.18

# 錯化合物と再沈殿帯への化学元素の移動について(1)

V. V. Shchervina

小西 善治 訳

錯化合物は，再沈殿帯（硫化帯）へ化学元素が移動する際に重要な役割を果す．移動が起ると，1元素（ときには稼行対象の規模に達する）の濃集と他元素の分散が起る。この種錯化合物は（土壌酸）有機物質の附加したものを，無機（炭酸塩・燐酸塩）錯化合物で代表される。

錯化合物の型をとると，多くの元素の移動能力はきわめて高くなる。しかし化学元素の地球化学的出現範囲を著しく拡大する錯化合物については，これまでにあまり研究されていない。

1944年には V. S. Sobolev は，錯化合物の濫用を批判し，結晶物質—溶液に対しては他の基準が存在するーの結合に適用される価電子の値を基にして，錯塩と複塩とに明確な区別を与えた。錯化合物の存在を識別する基準として，筆者は素イオンに対する錯アニオンの化学的特性の変化を利用する。

多くの化学元素，例えば鉄・チタン・ジルコン・ウラン・錫・スカンジウム・銀および金等は，地表地帯の中性水溶液では単純なカチオン型態で存在し，非移動性である。したがって他の移動型態で存在しなければ，この種元素は地球化学的移動輪廻に干与しないであろう。その原因としては，水酸化物（褐鉄鉱・バデレーイット・ベツケライ等）かまたは難溶性塩類の沈殿を伴なうこの種塩類の加水分解し易い性質があげられる。しかし金・銀のような元素は，自然金・銀の状態に移行し，そのために移動しない。

これらのカチオンが複雑な錯イオン—この場合普通アニオンの状態で移動する—を形成する場合には，その化学的性質は著しく変わる。多くの場合，溶解度が増大し，酸化，還元電位が著しく変わり，元素は大きな移動能力を獲得するようになる。

錯アニオンが形成されると，多くのカチオンは難溶性沈殿物を生成するようなイオンとして沈殿することを停止する。例えば塩化ナトリウムの濃縮溶液が，難溶性沈殿物（角銀鉱）AgCl に作用すると銀の溶解が起る。

$$NaCl + AgCl \rightarrow Na\,[AgCl_2]$$

この溶液からは，銀は $CO_3^{2-}$ または $P_4^{3-}$ イオンとして決して沈殿しない。

しかし安定な錯イオンからカチオンの沈殿を促すアニオンが存在する。例えば $[AgCl]^-$ の錯イオンの沈澱剤としては，硫化物質のアニオン $S^{2-}$ があげられる。

この過程は次のように説明されるであろう。すなわち錯イオンはいかに安定な状態を保つていても次式により単純イオンにつねにある程度解離している。

$$[AgCl_2]^- \leftrightarrows Ag^+ + 2Cl^-$$

$$K = \frac{[Ag^+][Cl^-]^2}{[AgCl_2^-]} = 2.3 \cdot 10^{-6}$$

K 電離定数（不安定定数）と名付けられる定数，この場合には $2.3 \cdot 10^{-6}$ である。電離定数値が小さくなれば，錯イオンは安定となる。この定数の増大は，錯（化合物）塩から複塩—例えば Carnallite $KMgCl_3 \cdot 6H_2O$—への移行を意味している。

---

* В. В. Щербина : Комплексные соединения и перенос химических элементов в зоне гипергенеза, Геохимия, No. 5, Академия наук СССР, 1956

註 1) メキシコ万国地質会議の報告

このようにして溶液中には錯イオンとともに少量の元素イオンが存在する．いま錯イオンの濃度が難溶解性化合物の溶解度積（$Ag_2S$ の溶解度積は小さく $5.5 \cdot 10^{-51}$ に等しい）から推定される濃度よりも高ければ，沈殿が起る．すなわち銀・塩化物イオンは，硫化物イオンで分解を起し，輝銀鉱が沈殿する．

銀のナトリウム塩化物はイオンが解離し易い点からみて，銀の二次沈殿帯への移動は，主として有機化合物と錯塩の型で行われることが考えられる．

同一硫化物イオンは，土壌酸と安定な錯イオンを形成する鉄の沈殿剤とならない．これは解離によつて生成される鉄のカチオン濃度が溶解度積 $FeS = 3.7 \cdot 10^{-19}$ に対応する鉄イオンの濃度より低いからである．

特にこの現象は，有機化合物に富む北方の沼沢地域では硫酸塩が硫化物に還元される強力な還元環境が存在するにもかゝわらず，なにゆえに硫化鉄が生成（鉄が腐植酸の型で溶解状態にある場合）されないかを明らかにしている．

錯化合物は分解によつて生成された新錯化合物が先行のものよりも解離度が低ければ，特異な溶剤の役割を演ずる．

例えば酸に関して安定な（金属）金は，フェリシアンカカリウム〔$K_4Fe(CN)_6$〕の中性溶液に溶解し，そのためきわめて安定なフェリシアンカカリウムは分解し，鉄の水酸化物が溶液から沈殿する．

$$3Au + K_4Fe(CN)_6 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 3KAu(CN)_2 + Fe(OH)_3 + KOH$$

この法則による化学反応は，現在知られているよりも自然においてははるかに広範囲に行われている．

例えば鉄の水酸化物が溶解するためには，相当高い酸性環境（われわれのデータによると 0.1 $N$ 溶液の加水分解開始期の pH は，$Fe_2(SO_4)_3 = 2.48$ である）を必要とされるが，同一の鉄の水酸化物は，例えばアルカリ金属の中性クエンサン溶液に溶解し，錯イオンを生成する。同様の反応系によつて，褐鉄鉱は土壌に含まれている有機酸（アルカリ塩）の作用によつて溶解することが可能である。この場合には鉄と腐植酸とは，錯アニオンを形成するが，カチオンの役割はアルカリが演ずる。

類似の反応は，研究成績が示すように，アルミニウム・チタン・ジルコン・ウラン・銅の水酸化物に対して特徴的であるが，モリブデン・バナジウムおよびその他の元素でも可能である。したがつてこれらの元素は有機物質を含む堆積岩中に沈積することができる。

錯化合物は土壌中における微量の混合物および稀有元素の移動と存在を解明するうえにおいて，きわめて大きな意義をもつている。この種の元素の含有量と分布については，A. P. Vinogradov およびその共同研究者によつて研究されている。

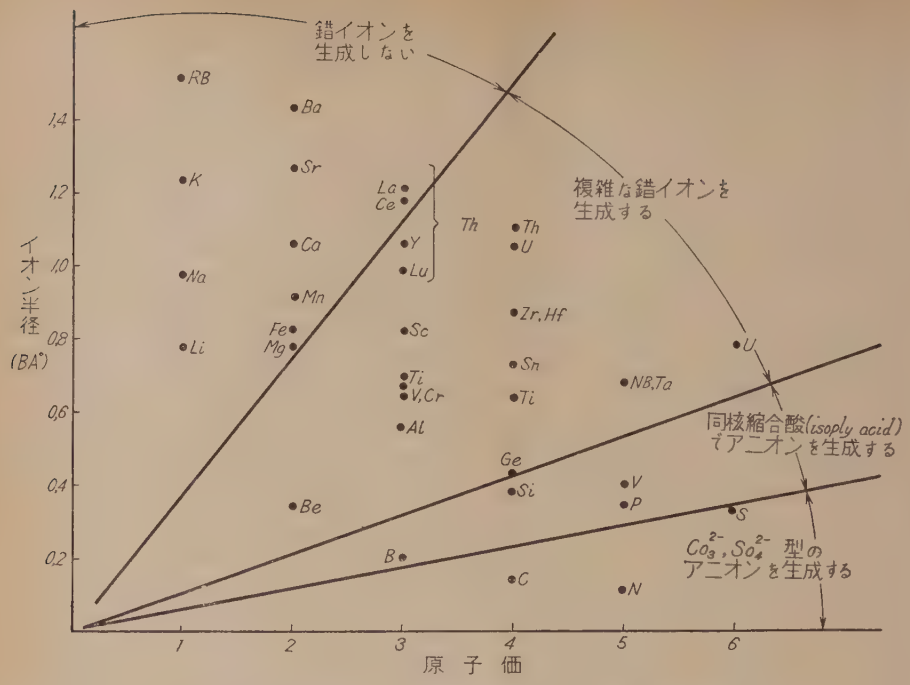
1949年には Shneiderhöhw はドイツの堆積岩中におけるチタン・バナジウム・クロム・モリブデン・ニッケルおよびその他の元素の濃集度の高いことについて記載している。ゾルの型でのチタン（$Ti(OH)_4$）の移動では，チタンの含有量の増加を説明することができないであろう。

有機物質を含む岩石類にあつては，（1）溶性腐植質錯化合物の分解と，（2）堆積岩中に含まれている有機物質による収着とを媒介として，これらの元素が濃集したと考えるのがはるかに合理的である。

このように二次沈殿帯（hypergenesis）の化学的反応の範囲は，錯イオンの生成過程の解明によつて著しく拡大されている。すなわち溶解堆積過程でみられる多くの見掛上の不可解な現象は，錯化合物化学で明らかにされている。

化学元素が錯化合物を生成する能力は，原子の電子殻構造，原子価の値，イオン半径，イオンの分極および結合の特性で決定される

18電子殻の親銅元素のイオンは，親石元素の類似の18原子殻イオンよりもはるかに容易に錯




第1図 イオン化ポテンシャル図上の複雑な錯イオンを生成する元素の位置

イオンを形成する。

原子価が増大し，イオン半径値が低くなる（カチオンの分極作用が強まる）と，錯イオンの生成が促進され，まず第一に化学的結合の性質に反映する。

原子価とイオン半径との相関関係は，イオン化ポテンシャル図に示されてある。

A. E. Fersman は，錯イオンの生成現象を結晶格子エネルギーの立場から検討している。$SO_4^{2-}$, $PO_4^{3-}$, $SiO_4^{4-}$ のようなアニオンを考慮に入れないとすると，特徴的な錯イオン構成元素としては次のようである。Be, Al, $Fe^{3+}$, Ti, Zr, $Sn^{4+}$, $V^{4+}$, $U^{6+}$ である。次に錯イオンを構成する頻度が低いが，$Cr^{3+}$, $V^{3+}$, $Sc^{3+}$, 希土類, $U^{4+}$, $W^{6+}$, $Mo^{6+}$ があげられる。さらに現在この関係（錯イオンの構成）についてはほとんど研究されていないが，Nb, Ta も錯イオンの構成元素と考えられる。

第1図をみれば，この種錯イオン構成元素が図表の中央部分を占め，イオン化ポテンシャルの値の平均値をもつているのが容易に理解される。

イオン化ポテンシャルがきわめて高いイオンは，$SO_4^{2-}$, $PO_4^{3-}$ 型のアニオンを生成する。しかしイオン化ポテンシャル値の低い元素（アルカリ・アルカリ土類）は錯イオンを形成しない。

親銅元素では，分極特性が著しく強まる。すなわち分極特性は，元素の番号に比例して増大するとともに，それに対応して錯化合物を生成する能力も増大する。Au>Ag>Cu;Hg>Cd>Zn 等，アルミニウムとカリウムとは化学的性質がきわめて類似しているが，錯イオンを形成する能力は，カリウムが大きい。

錯イオンを形成する能力が弱い元素は 18+2- 電子殻をもつ元素 $Tl^{+}$, $Pb^{2+}$, $Bi^{3+}$ である。これらの元素類ではその能力は $Tl^{+}$ から $Bi^{3+}$ と増大し，地球化学的（元素）移動では，Bi が明確な移動型を示す。一般的には元素周期表では零族から離れるに従つて，錯化合物を生成す

る能力が増大する傾向が認められる。

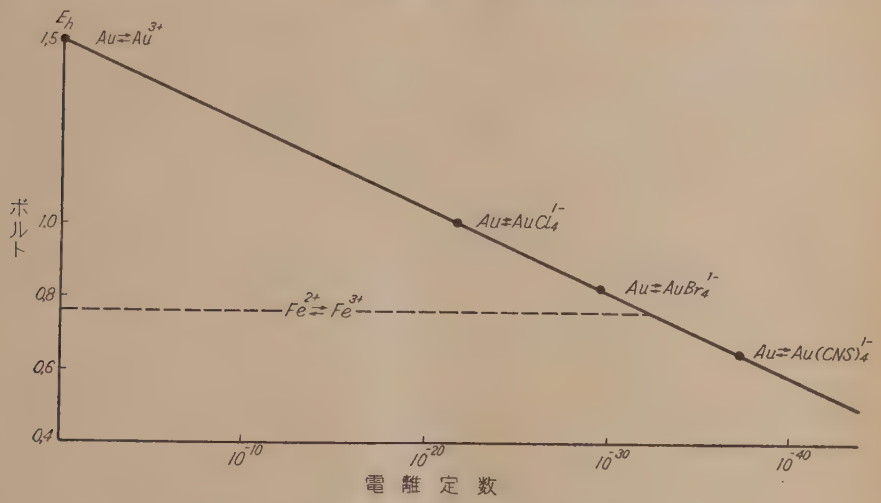
錯イオンの安定度が増すと，中性または弱アルカリ性の地表水による加水分解が弱まってくる。したがつて元素の移動能力が上昇する。

さらに錯イオンの安定が増すと，自由イオン・錯アニオン組成中にはいる一の濃度が低下してくる。しかし種々の酸化度を示す元素にとつては，この現象は酸化還元電位の低下を意味している。

種々の元素の生成する錯イオンの安定度は異なつているから，酸化還元電位もきわめて変化に富んでいる。すなわち酸化還元反応はしばしば普通の反応径路と反対方向に行われ，反応の場（媒質）の pH 値に左右されることが少なくない場合がある。

錯イオン安定度の増大を伴なう酸化還元電位の低下例としては，金の化合物があげられる。いま金の酸化，還元電位が $Au \rightarrow Au^{3+} + 3e^- = 1.50V$ の反応により +1.5V[註2] に等しいとするならば，塩化金錯イオンでは，$Au \rightarrow AuCl_4^- = +1.0V$，臭化金では +0.82V に対応するがロダンカ金では $Au \rightarrow Au(CNS)_4 = +0.66V$ である。

金では多数の有機酸（土壌）のある種のものと，さらに低い電離定数をもつ錯イオン―そのために酸化還元電位はさらに低下するであろう―を形成する可能性は度外視できない。再沈殿帯（hypergenesis）の條件下では，このような錯イオンの存在する可能性は充分に実在する。




第2図　金の錯イオンの安定度の減少に伴ない，金の酸化還元電位が低下を示す

金が土壌酸に溶解されて運ばれるために，廃棄砂金鉱床が，ふたんご富化されている現象については，Freise がすでに 1930 年および 1931 年に記載している。ウラルのある砂金鉱床産の円塚状自然金には，周知のように八面体結晶が成長し，腐植酸による金の移動可能性を明らかに立証しているから，この論文に対する批判的見解は支持できないであろう。

金，腐植錯イオンが，ロダンカ金に近い電離定数の場合には，金は3価鉄の自由イオンで酸化され，腐植酸型の溶液で移動する。

土壌酸の組成は，多様で，かつ不定であるから金の対応錯イオンの定数値を述べることは不可能である。

銀が石炭紀後期の砂岩層で 20g/t まで著しく富化―有機物遺骸を膠結する石灰質粘土中に含まれている―されているのは，銀が可溶性有機錯イオンの型で出現し，それが分解して生成さ

註2)　(Latimer, W. M.: The oxidation states of the element and their potentials in aqueous solutions. New York. 1952

れたことで説明できるであろう。

ソ連北部地域の湖底では，含鉄腐植の分解—ポドゾール土壌の際に生じる土壌酸で浸出される—によつて褐鉄鉱（沼鉄鉱）は広域にわたつて蓄積し，その沼鉄鉱は稼行対象となつている

地質家はオイル・シエル産のジルコン円球粒に結晶面の成長しているのを観察している。この現象はジルコンが腐植性錯イオンの型で運ばれ，再沈澱したことで容易に解明できるであろう。

Jones と Miller によれば石炭中における Ti 含有量の増加（灰分中に16～19%）は腐植性錯イオンで説明できる註3)。しかしソ連ではこの種の富化現象はある種の石炭にのみ認められる。

富化を原因としては石炭中にこの種希有金属が濃集するのに適する収着過程が広域にわたつて出現することが考えられる。しかしこの場合難溶性腐植の生成かあるいはカルシウムの沈殿，すなわち可溶性腐植性錯イオンの生成かが否定できないであろう。

無機錯イオンは，有機錯イオンとともに再沈殿帯 (hypergene zone) への元素の移動にとつて大きな意味をもつている。このような錯イオンには，まず第一にランタニドおよびアクチニドの移動の際に特徴的にみられる複アルカリ，炭酸塩錯化合物 (double-alkali-carbonate complex) があげられる。ある種の燐灰土または他の沈殿物中におけるスカンジウムの含有量の上昇と炭酸塩水を媒介とする希土類元素の移動—イットリウムの富化を伴なう—は，錯化合物型 ($Na_3[Sc(CO_3)_3]$) をとる移動で明らかにできるはずである。

6 価ウランの複雑な炭酸塩が Svatisite, Andersonite, Beylite, Schrekingerite の型で自然に賦存しているのは，難溶性錯化合物 $MgCa[UO_2(CO_3)_3]\cdot 12H_2O$ (Svatisite) かあるいは Andersonite 型 $NaCa[UO_2(CO_3)_3]\cdot 6H_2O$—この場合には可溶性のナトリウム，ウラン炭酸塩化合物のナトリウムの半分がカルシウムで置換される—かが堆積物中に沈殿した $Na_4[UO_2(CO_3)_3]$ 様式のウランの（再沈殿性）移動を明白に立証している。

銅イオンとウラン炭酸塩錯イオンとの間に若干異なる反応が行われる。すなわち炭酸塩イオンが孔雀石の生成によつてまず除かれるとともに，ウラン炭酸塩錯イオンが分解し，ウランが孔雀石と密接に共生関係を示す再沈殿鉱物の型で沈殿する。

トリウムでは，溶性炭酸塩錯イオンの生成は 6 価ウランより困難である。トリウム錯イオンは化学的にみて安定度が低い。しかし再沈殿帯へのトリウムの化学的移動過程は，この性質のみによつて説明できるであろう。

Kh. T. Brition のデータによれば，銅塩の 0.1*N* 溶液は，pH 5.4 ですでに加水分解を始めるにもかゝわらず，ある種の鉱物，例えば珪孔雀石—$CuSiO_3\cdot H_2O$ はアルカリ環境で生成される。したがつて，銅はアルカリ媒質に溶性の銅化合物の型で存在することが考えられるはずである。

このような化合物は，銅・アンモニウム・錯塩 $[Cu(4NH_3)]^2$ の型か，あるいはアルカリ媒質に可溶性の酒石酸，錯化合物（Fehling 液）の型がよく知られている。この種化合物は，標準化合物であつて，弱アルカリ媒質の條件下でも土壌の有機酸で銅の移動が起ることは明らかである。

このような銅の可溶性錯酸には，炭酸塩が重炭酸ナトリウム ($NaHCO_3$=8—9 g/*l*) 溶液および燐酸ナトリウム溶液に溶解して生じる錯塩があげられる。銅自体に関しては，$Na_2CO_3$ 溶液に溶解して生ずる燐酸銅の錯イオンがある。著者と Ignatova とが調整したこの種溶液は，普通の銅塩よりも一層帯空色の色調をもち，その色調自体は 4 価のバナジウム塩を想起させる。$Cu^{2+}$=1.1326 g/*l* の銅を含有する場合には，その溶液の pH は 10.51 であつた。このような

註3) Jones, J. H. & Miller, J. M.: The occurrence of Ti and Ni in the ash from some special coals, Chem. & Ind., 58, 11, 237, 1939

高いpH値の場合の銅の高含有量と溶液の色調とは，銅の燐酸・炭酸塩・錯化合物が生成された場合だけに認められる。化学では $Na_3PO_4 \cdot Na_2CO_3$ または $Na_3PO_4 \cdot 2Na_2CO_3$ 組成の錯塩（または複塩）が知られているが，この溶液からは燐酸・炭酸塩ではなく，銅の帯空色炭酸塩，すなわち藍銅鉱？ $2CuCO_3 \cdot Cu(OH)_2$ の沈殿が起る。

燐酸・炭酸塩錯塩が存在することを立証するものとしては，Bradleiit $Na_3Mg(PO_4)CO_3$ の鉱物組成があげられる。藍銅鉱は，銅の炭酸塩に炭酸を直接作用させても求められないが，銅の燐酸・炭酸塩錯塩からは得られる。

したがつて孔雀石よりも一層炭酸化合物に富む藍銅鉱が生成されるためには，銅の燐酸・炭酸塩質化合物のようなある種の“媒介者”の干渉することが必要となる。

このようにして求められた藍銅鉱の帯空色沈殿物は，加水分解によつて孔雀石の緑色沈殿物に移行する。類似の過程は自然で観察されるが，逆反応過程は知られていない。

アルカリ媒質では，銅の元素イオンは，溶解しないが，上述のように溶性錯化合物を生じる。その媒質での化学反応のみをみても，自然で行われている銅鉱物系の置換反応を容易に明らかにすることができるであろう。

銅燐酸→銅炭酸塩→銅珪酸塩
ehlite　malachite　chrysocolla

銀塩との上述の類似反応は，2価の銅塩とのような同一効果が与えられない。

鉛は銅と比較して，錯化合物をつくる能力が低い。しかしビスマスにあつては，錯化合物をつくる傾向が，ふたゝび増加するから，現在ほとんど研究されていない。再沈殿帯におけるビスマスの移動もこの点を考慮に入れれば説明できるであろう。

上述のデータは，化学元素の移動（再沈殿帯）における錯化合物の大きな役割を立証している。元素の移動能力は，錯化合物が生じるので著しく拡大する。移動能力は難溶性塩か（Svatisite $MgCa[UO_2(CO_3)_3] \cdot 12H_2O$）あるいは腐植性錯塩の非溶性カルシウム塩かが生成されるので停止される。さらに錯化合物が個々のイオンの作用を（ウラン炭酸塩錯化合物では $Cu^{2+}$）受ける場合，ならびに腐植質錯化合物が空気中の酸素で酸化されて分解する場合には，それぞれ錯塩の分解が起るので，移動能力は停止する。鉄水酸化物の特徴的な“褐色皮膜”が北方地域の沼沢水の表面に生成されているのは，この化学的過程を明瞭に示すものである。

# 地質調査所月報 第9巻第7号 目 次

## 報 文

岐阜県苗木地方ウラン調査報告 2．恵比寿鉱山
岐阜県恵比寿鉱山母岩および鉱脈中の微放射性鉱物
岐阜県苗木地方放射能探査報告
和歌山県日高川上流含ウラン黒色頁岩の開発可能性基本調査

## 概 報

生野鉱山の2,3の鉱脈における放射能強度
鳥取県倉吉市小鴨鉱山試錐調査報告

## 資 料

酸化ウランのX線解析

**地質調査所への連絡は**

| | |
|---|---|
| 本 所 | 神奈川県川崎市久本町（溝の口）135番地 電話 (70) 1146～1148番 (72) 4291～4293番 |
| 東京分室 | 東京都新宿区河田町8番地 電話 (34) 7131～8番 |
| 北海道支所 | 北海道札幌市南1條西18丁目 電話（3）5574番 |
| 仙台駐在員事務所 | 仙台市柳町通り28番地(仙台通産局内) 電話（3）2306番 |
| 名古屋駐在員事務所 | 名古屋市東区長堀町（名古屋通産局内）電話（4）6416番 |
| 大阪駐在員事務所 | 大阪市大淀区大仁西2丁目（大阪工業技術試験所内） 電話 大阪 (45) 7019番 |
| 広島駐在員事務所 | 広島市基町1番地（広島通産局内）電話 中（2）1945番 |
| 四国駐在員事務所 | 高松市七番町56の1番地（四国通産局内）電話 高松 5681番 |
| 福岡駐在員事務所 | 福岡市北浜町2の19番地（通産省福岡合同庁舎内） 電話 西局（2）6743番 |

昭和33年6月25日 印 刷
昭和33年6月30日 発 行

著者権所有 工業技術院地質調査所

印刷者 田中春美
東京都台東区東黒門町3番地
印刷所 合資会社 田中幸和堂印刷所
東京都台東区東黒門町3番地

U. D. C. 55(

# BULLETIN OF THE GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN

Katsu Kaneko, Director

Vol. 9 JUNE 1958 No. 6

CONTENTS

Y. Ono, M. Murozumi & I. Homma : On the Application of Resistivity Method for Horizontally Stratified Layer Problems (Some Notes on Geo-electrical Measurements at Tanashi and Tako) ..... (1)

N. Obara : Geological Notes of the Proposed Dam Site of Shin' nariwa, Okayama Prefecture ..... (11)

N. Kurata, K. Mori & K. Ikeda : Ground Water Researches for Fabric Industry in the Eastern Part of Tōkyō on the Right Side of the Edo River ..... (17)

H. Nakamura & K. Maéda : Thermal Saline Waters in Japan ..... (41)

M. Sasaki : On the Properties of the Takasaki Coal in the Takasaki Lignite Field, Gumma Prefecture ..... (51)

GEOLOGICAL SURVEY OF JAPAN
Hisamoto-chō, Kawasaki-shi, Japan

地質調
Bull. Geol.
Vol. 9, No.